CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES COUPÉS ET DU PEUPLEMENT RÉSIDUEL À LA PREMIÈRE ÉCLAIRCIE COMMERCIALE DE PLANTATIONS RÉSINEUSES

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N°143

Par

Guy Prégent

Québec

CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES COUPÉS ET DU PEUPLEMENT RÉSIDUEL À LA PREMIÈRE ÉCLAIRCIE COMMERCIALE DE PLANTATIONS RÉSINEUSES

2003

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N°143

Par

Guy Prégent, ing.f., M.Sc.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière

Mandat de la DRF

Le mandat de la Direction de la recherche forestière (DRF) au sein du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux principalement de long terme et d'envergure nationale, lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Les Mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document gratuit est tiré à 1 000 exemplaires. Il est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière, Forêt Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec)
Canada G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiere@mrnfp.gouv.qc.ca
Internet : www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

Note biographique

Guy Prégent est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1980. En 1985, le même établissement lui décernait le diplôme de maître ès sciences (écologie et pédologie forestières). De 1982 à 1987, il est assistant de recherche à la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval, puis professionnel de recherche au Centre de recherche en biologie forestière du même établissement. À l'emploi du Ministère depuis 1987, il est d'abord affecté au Service de la régénération forestière puis, depuis 1992, à la Direction de la recherche forestière, à titre de chargé de recherches sur le rendement et l'éclaircie des plantations.

Remerciements

Je tiens à remercier MM. René Kirouac, Conrad Thomassin, Yvon Lévesque, Jean-Yves Montambault, Guy Chantal et Réjean Poliquin pour la cueillette des données en forêt ainsi que M. Louis Blais pour les analyses de régression. Mes remerciements s'adressent également à Mme Sylvie Bourassa pour la dactylographie du document, à M. Pierre Bélanger pour la révision linguistique et l'édition ainsi qu'aux examinateurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions.

104-01658/

Résumé

À partir de données de 617 inventaires en provenance de 522 parcelles réparties dans la plupart des régions du Québec, nous avons simulé la première éclaircie commerciale pour diverses intensités, différents moments d'intervention et pour deux types d'éclaircie (systématique et sélective par le bas). Les espèces étudiées sont les épinettes blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) et de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.), le mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch) ainsi que les pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et rouge (*Pinus resinosa* Ait.). Des modèles de régression permettent d'estimer le dhp moyen, le volume total et le volume marchand des arbres coupés de même que le dhp moyen du peuplement résiduel à la première éclaircie commerciale en fonction du type d'éclaircie, de l'intensité de l'éclaircie, du moment de l'éclaircie, du nombre de tiges avant l'éclaircie ainsi que de l'espèce. Le nombre de tiges coupées et celui du peuplement résiduel ainsi que le gain technique du dhp en fonction de ces paramètres sont également présentés. Les problèmes de rentabilité de la première éclaircie en présence d'un nombre élevé de tiges sont discutés.

Mots-clés : éclaircie, systématique, sélective, surface terrière, nombre de tiges, intensité, dhp, volume, *Larix laricina*, *Picea abies*, *Picea glauca*, *Pinus banksiana*, *Pinus resinosa*, plantation.

Abstract

*Using data from 617 inventories and 522 sample plots distributed in most regions of Québec, the initial commercial thinning was simulated for several intensities, different intervention times and two types of thinning (systematic and selective from below). Species studied were white spruce (*Picea glauca *(Moench) Voss), Norway spruce (*P. abies *(L.) Karst.), eastern tamarack (*Larix laricina *(Du Roi) K. Koch), jack pine (*Pinus banksiana *Lamb.) and red pine (*P. resinosa *Ait.). Regression models were used to estimate the mean dbh, the total volume and the merchantable volume in relation to the type of thinning, thinning intensity, time of thinning, the number of stems before thinning and the species. Also presented are the number of cut and residual stems in the stand, as well as the* thinning technical effect *on dbh (immediate increase in average stem diameter resulting from the removal of the smaller stems) in relation to these parameters. Given the high number of stems, problems regarding the profitability of the first thinning are discussed.*

Key words: thinning, systematic, selective, basal area, number of stems, intensity, dbh, volume, plantation, Larix laricina, Picea abies, Picea glauca, Pinus banksiana, Pinus resinosa.

Table des matières

PAGE

Remerciements iii

Résumé v

Abstract v

Liste des tableaux ix

Liste des figures xi

Introduction 1

CHAPITRE PREMIER - MATÉRIEL ET MÉTHODES 3

1.1 Caractéristiques des parcelles échantillonnées et prise de mesures 3

1.2 Analyses statistiques 5

CHAPITRE DEUX - RESULTATS 7

2.1 Caractéristiques des arbres coupés 7

2.1.1 Dhp quadratique moyen 7

2.1.2 Volume 9

2.1.3 Nombre de tiges 13

2.1.4 Volume par tige 25

2.1.5 Relations entre les portions totale et marchande 30

2.2 Caractéristiques du peuplement résiduel 36

2.2.1 Dhp quadratique moyen 36

2.2.2 Gain technique du dhp 40

2.2.3 Nombre de tiges 40

CHAPITRE TROIS - DISCUSSION 49

Conclusion 51

Références bibliographiques 53

Liste des tableaux

PAGE

Tableau 1 Répartition des mesurage de parcelles d'inventaire selon les espèces et les domaines écologiques 3

Tableau 2 Statistiques descriptives de diverses variables dendrométriques des parcelles échantillonnées 4

Tableau 3 Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du dhp quadratique moyen des arbres coupés à la première éclaircie sélective par le bas 9

Tableau 4 Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du volume des arbres coupés à la première éclaircie 12

Tableau 5 Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du dhp quadratique moyen des arbres résiduels à la première éclaircie sélective par le bas 36

Liste des figures

PAGE

Figure 1 Dhp moyen des arbres coupés à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 8

Figure 2 Dhp moyen de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 10

Figure 3 Dhp moyen des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 11

Figure 4 Volume total de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 14

Figure 5 Volume marchand de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 15

Figure 6 Volume total de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 16

Figure 7 Volume marchand de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 17

Figure 8 Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 18

PAGE

Figure 9 Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 19

Figure 10 Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 20

Figure 11 Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 21

Figure 12 Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 22

Figure 13 Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 23

Figure 14 Nombre de tiges coupées à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée et du nombre de tiges avant l'éclaircie 24

Figure 15 Nombre de tiges d'épinette blanche coupées à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 26

Figure 16 Nombre de tiges coupées à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, du taux de prélèvement de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 27

Figure 17 Volume moyen par tige d'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 28

Figure 18 Volume moyen par tige d'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 29

PAGE

Figure 19 Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 31

Figure 20 Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 32

Figure 21 Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 33

Figure 22 Taux de surface terrière marchande pour l'épinette blanche à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 34

Figure 23 Taux de surface terrière marchande pour l'épinette blanche à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 35

Figure 24 Taux de tiges marchandes pour l'épinette blanche à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 37

Figure 25 Taux de tiges marchandes pour l'épinette blanche à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 38

Figure 26 Dhp quadratique moyen des tiges résiduelles d'épinette blanche après la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 39

Figure 27 Dhp quadratique moyen des tiges résiduelles après la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 41

Figure 28 Gain technique du dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 42

PAGE

Figure 29 Pourcentage de gain technique du dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 43

Figure 30 Pourcentage de gain technique du dhp à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de l'essence, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière 44

Figure 31 Nombre de tiges résiduelles à la suite de la première éclaircie systématique en fonction de l'intensité de l'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie 45

Figure 32 Nombre de tiges résiduelles d'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie 47

Figure 33 Nombre de tiges résiduelles à la suite de la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de l'intensité de l'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie 48

Introduction

L'industrie du bois de sciage occupe une place importante dans le développement économique du Québec. En 2000, les 1 144 usines de sciage ont utilisé près de 39,6 millions de mètres cubes de bois, soit 53,7 % de la récolte totale (Anonyme 2001). Ces usines utilisent généralement des arbres de fortes dimensions et de bonne qualité.

Les éclaircies sont nécessaires pour obtenir le maximum de produits de plus grandes dimensions et de meilleure qualité dans un temps minimum (Day et Rudolph 1972). Elles permettent d'améliorer les caractéristiques d'une plantation et de réduire les frais d'exploitation et de transformation subséquents (Lundgren 1981, Liechty *et al.* 1988). La pratique de l'éclaircie commerciale est de plus en plus courante au Québec. De 1995 à 1999, les superficies traitées sont passées de 3 944 à 11 469 ha (Anonyme 2001).

La surface terrière totale est un bon indicateur du degré de compétition entre les tiges (Opie 1968, Rondeux 1993) et par conséquent elle peut servir à déterminer le moment pour réaliser l'éclaircie commerciale (Vuokila 1983, Duyck 1984). Pour l'épinette de Norvège, Misson *et al.* (2003) rapportent un ralentissement de croissance du diamètre à partir d'une surface terrière qui varie entre 26 et 29 m^2/ha, selon le degré d'humidité des sols. Pour la plupart des espèces de la Finlande, Vuokila (1983) propose d'éclaircir lorsque la surface terrière atteint environ 26 m^2/ha ; une valeur de 22 m^2/ha ne justifierait pas l'éclaircie alors qu'une valeur de 30 m^2/ha indiquerait un retard d'éclaircie. La surface terrière totale devrait se situer entre 25 et 35 m^2/ha au moment de l'éclaircie ; la valeur minimale doit être privilégiée pour les essences de lumière, les peuplements jeunes et les objectifs de production de très gros bois (Prégent 1998a). Ces seuils sont atteints à des âges qui varient selon l'essence, la qualité de station, la densité de reboisement et le taux de survie. Plus l'espèce et la station sont productives de même que plus le nombre de tiges est élevé, plus l'éclaircie devra être réalisée hâtivement (Prégent 1998a).

Parmi toutes les coupes d'éclaircie commerciale, la première est la plus difficile à rentabiliser puisque les coûts d'exploitation sont élevés et les arbres récoltés sont de plus faibles dimensions. Toutefois, il s'agit de la plus importante puisque ses effets se répercutent sur toutes les coupes subséquentes et jusqu'à la coupe finale (Prégent 1998a). Malgré cette importance, nous ne disposons pas actuellement de renseignements précis sur les caractéristiques des arbres coupés et du peuplement résiduel à la suite de cette première éclaircie.

Cette étude vise à estimer le dhp, le volume total, le volume marchand et le nombre de tiges coupées à la première éclaircie commerciale en fonction du type d'éclaircie, de l'intensité de l'éclaircie, du moment de l'éclaircie, du nombre de tiges avant l'éclaircie ainsi que de l'espèce. Le dhp et le nombre de tiges du peuplement résiduel ainsi que le gain technique du dhp en fonction de ces paramètres sont également présentés. Les liens entre les caractéristiques de cette première éclaircie, la densité de reboisement et l'éclaircie précommerciale sont abordés. On y discute également des répercussions possibles de l'amélioration génétique et des problèmes liés à un nombre élevé de tiges. De plus, la section 2.1.5 permet de convertir les résultats en surface terrière marchande et en nombre de tiges marchandes.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Caractéristiques des parcelles échantillonnées et prise de mesures

Nous avons simulé une éclaircie commerciale pour les parcelles qui avaient une surface terrière totale comprise entre 24 et 40 m²/ha. Le seuil de 40 m²/ha évite l'étude des éclaircies très tardives lesquelles devraient être le plus souvent proscrites. De plus, nous avons éliminé les espèces dont les parcelles ne satisfaisaient pas ce critère en nombre suffisant, comme l'épinette noire par exemple. Ainsi, nous avons eu accès à 522 parcelles issues de 454 plantations mesurées entre les années 1970 et 1999. Dans la plupart des cas, les parcelles sont rectangulaires ou carrées et occupent une superficie de 0,04 ha ; quelques-unes sont circulaires alors que certaines ont des superficies de 0,02 ou 0,08 ha. Compte tenu du mesurage successif de certaines d'entre elles dans le temps, nous disposons de 617 mesurages de parcelles. La répartition de ces mesurages selon les essences et les domaines écologiques est présentée au tableau 1. Près de 93 % des données disponibles proviennent des domaines de l'érablière à tilleul, de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune, domaines où est située la plus forte proportion des vieilles plantations au Québec.

L'année de la mise en terre des plants s'échelonne de 1923 à 1976. Il s'agit de plants à racines nues puisque la production de plants en récipients n'a débuté au Québec qu'après cette période.

Bolghari et Bertrand (1984) décrivent la méthode d'installation et de mesurage des parcelles ainsi que les méthodes de cubage et de calculs des indices de qualité de station. Le tableau 2 présente les caractéristiques dendrométriques pour chacune des cinq espèces étudiées. L'échantillonnage couvre un très large spectre des qualités de station et des densités de reboisement observées au Québec.

Tableau 1

Répartition des mesurages de parcelles d'inventaire selon les espèces et les domaines écologiques

Domaine écologique*	Espèce					TOTAL
	Épinette blanche	Épinette de Norvège	Mélèze laricin	Pin gris	Pin blanc	
Érablière à caryer cordiforme	0	0	4	5	7	16
Érablière à tilleul	59	31	45	78	93	306
Érablière à bouleau jaune	45	18	3	45	33	144
Sapinière à bouleau jaune	51	19	0	26	30	126
Sapinière à bouleau blanc	4	2	0	18	0	24
Pessière à mousses	0	0	0	1	0	1
TOTAL	159	70	52	173	163	617

* Selon les domaines écologiques de Saucier, *et al.* 1998.

Tableau 2

Statistiques descriptives de diverses variables dendrométriques des parcelles échantillonnées

Variable	Espèce	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart type
Âge total (années)	Épinette blanche	16	32	56	7,2
	Épinette de Norvège	19	30	58	7,7
	Mélèze laricin	16	26	42	8,4
	Pin gris	18	30	48	7,4
	Pin rouge	15	25	52	7,5
Hauteur dominante (m)	Épinette blanche	7,1	11,8	20,6	2,6
	Épinette de Norvège	8,0	13,0	21,6	2,8
	Mélèze laricin	10,3	15,7	21,5	3,5
	Pin gris	8,0	13,8	20,3	2,9
	Pin rouge	5,1	11,0	18,9	3,0
Indice de qualité de station (m)	Épinette blanche	6,4	9,2	15,9	1,4
	Épinette de Norvège	7,8	10,9	15,0	1,7
	Mélèze laricin	12,3	16,7	22,4	2,4
	Pin gris	4,7	6,4	8,5	0,8
	Pin rouge	3,3	6,0	8,1	0,9
Densité de reboisement (/ha)	Épinette blanche	1 300	3 336	16 000	1 661
	Épinette de Norvège	750	2 910	5 375	882
	Mélèze laricin	1 230	3 172	6 050	1 158
	Pin gris	800	3 152	8 250	1 221
	Pin rouge	1 000	2 645	7 200	893
Nombre de tiges (/ha)	Épinette blanche	925	2 558	9 250	1 125
	Épinette de Norvège	1 000	2 384	4 325	818
	Mélèze laricin	850	2 241	4 100	876
	Pin gris	700	2 188	6 950	865
	Pin rouge	775	2 096	6 700	831
Surface terrière totale (m^2/ha)	Épinette blanche	24,2	32,7	40,0	4,4
	Épinette de Norvège	24,2	32,3	39,8	4,5
	Mélèze laricin	24,2	31,5	39,6	4,4
	Pin gris	24,0	30,0	39,8	4,0
	Pin rouge	24,1	32,3	39,8	4,6
Dhp moyen (cm)	Épinette blanche	6,6	13,5	21,4	2,8
	Épinette de Norvège	8,5	13,8	21,5	3,1
	Mélèze laricin	8,7	14,2	21,4	3,1
	Pin gris	7,7	13,9	20,9	2,7
	Pin rouge	8,4	14,7	24,1	3,0
Volume total (m^3/ha)	Épinette blanche	101	192	346	51
	Épinette de Norvège	98	158	235	35
	Mélèze laricin	102	169	231	35
	Pin gris	96	154	265	36
	Pin rouge	76	138	250	34
Taux de survie (%)	Épinette blanche	24,0	75,6	100	16,2
	Épinette de Norvège	31,1	78,7	100	15,4
	Mélèze laricin	35,3	70,3	95,3	14,5
	Pin gris	15,9	69,5	94,8	16,6
	Pin rouge	50,8	81,6	100	13,1

Notes : Les tailles d'échantillon sont : épinette blanche : 159 ; épinette de Norvège : 70 ; mélèze laricin : 52 ; pin gris : 173 ; pin rouge : 163.
Les âges de référence pour l'indice de qualité de station sont de 15 ans pour les pins et 25 ans pour les autres espèces.

1.2 Analyses statistiques

Selon les données disponibles, nous simulons trois intensités d'éclaircies afin de réduire la surface terrière totale de 25, 33 et 40 %. Pour les éclaircies sélectives par le bas, les tiges sont soustraites du peuplement selon l'ordre croissant de dhp jusqu'à l'obtention du seuil de prélèvement visé. Par la suite, on calcule les caractéristiques des arbres coupés et du peuplement résiduel. Dans le cas des éclaircies systématiques, le nombre de tiges, la surface terrière et le volume sont calculés proportionnellement aux seuils de prélèvement. Nous parlerons d'arbres coupés plutôt que récoltés car un certain nombre de ces tiges n'atteignent pas les dimensions marchandes (notamment pour les éclaircies hâtives et un nombre élevé de tiges). Une tige est marchande si le diamètre à 1,30 m au-dessus du niveau le plus haut du sol est supérieur à 9,0 cm. Les relations entre les portions totale et marchande de la récolte sont abordées à la section 2.1.5.

Différents modèles pour estimer les dhp moyens des arbres coupés et du peuplement résiduel ainsi que les volumes total et marchand des arbres coupés ont été testés :

$$Y = \beta_0 Nt^{\beta_1}$$

$$Y = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2}$$

$$Y = \beta_0 Nt^{\beta_1} Int^{\beta_2}$$

$$Y = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2} Int^{\beta_3}$$

$$Y = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2} Int^{\beta_3} + \beta_4 Nt^{\beta_5}$$

où Y = Variable dépendante
(dhp, volume total ou volume marchand)

Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)

Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m^2/ha)

Int = Intensité d'éclaircie
(% de surface terrière totale enlevée)

β_0, β_1, β_2, β_3, β_4 et β_5 = Coefficients de régression.

Les analyses de régression se font à l'aide du progiciel statistique SAS (SAS INSTITUTE 1988). Le coefficient de détermination, l'erreur type et l'analyse graphique des résidus ont servi au choix du meilleur modèle.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Caractéristiques des arbres coupés

2.1.1 Dhp quadratique moyen

Le dhp de l'arbre de surface terrière moyenne d'un peuplement est obtenu à l'aide de la relation mathématique suivante :

$$DHP = 200 \sqrt{Gt / (\pi Nt)} \quad [1]$$

où DHP = Diamètre quadratique moyen (cm)
Gt = Surface terrière totale (m^2/ha)
Nt = Nombre de tiges (/ha).

Lors d'une éclaircie systématique, le dhp moyen des arbres coupés ainsi que celui du peuplement avant ou après l'éclaircie sont théoriquement identiques. En conséquence, la relation précédente peut être utilisée pour estimer le dhp moyen des arbres coupés lors d'une éclaircie systématique et ce, quelles que soient l'essence et l'intensité d'éclaircie. Cette relation est décrite à la figure 1. Pour une même valeur de surface terrière, le dhp des arbres coupés est d'autant plus faible que le nombre de tiges est élevé. Ce phénomène est attribuable à deux facteurs. Premièrement, la valeur de surface terrière est atteinte plus hâtivement dans le cas des plantations plus denses ; deuxièmement, pour un même âge, la croissance en diamètre est plus faible pour des plantations plus denses. Ainsi, pour une surface terrière de 25 m^2/ha, le dhp moyen est de 17,8 cm pour une densité de 1 000 tiges à l'hectare alors qu'il atteint 8,9 cm pour une densité de 4 000 tiges à l'hectare, soit une diminution de 50 %.

Pour l'éclaircie sélective par le bas, le modèle de régression suivant a permis de bien décrire la relation entre le dhp des arbres coupés, le nombre de tiges et la surface terrière avant l'éclaircie ainsi que l'intensité de l'éclaircie :

$$DHP_c = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2} Int^{\beta_3} \quad [2]$$

où DHP_c = Diamètre quadratique moyen des arbres coupés (cm)
Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)
Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m^2/ha)
Int = Intensité d'éclaircie (% de surface terrière totale enlevée).

Les coefficients et les caractéristiques des modèles retenus sont présentés au tableau 3. Pour l'épinette blanche, les résultats sont présentés à la figure 2.

Comme pour l'éclaircie systématique, le dhp moyen des arbres coupés en éclaircie sélective par le bas dépend du nombre de tiges et de la surface terrière avant l'éclaircie. Toutefois, contrairement à l'éclaircie systématique, le dhp varie également selon l'intensité d'éclaircie ; plus elle est de forte intensité, plus le dhp moyen augmente. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le dhp estimé est de 10,1 cm pour une intensité d'éclaircie de 25 % alors qu'il est de 11,1 cm à une intensité de 40 % (Figure 2).

La figure 3 permet de comparer le dhp des arbres coupés en fonction des diverses espèces étudiées en plus d'illustrer les différences entre les deux types d'éclaircies. Dans le cas de l'éclaircie sélective, le dhp moyen est généralement inférieur pour les épinettes alors qu'il est supérieur pour les deux espèces de pin. La plus grande variabilité des épinettes par rapport aux pins pourrait expliquer ce phénomène. Le mélèze laricin donne des résultats intermédiaires à ces deux groupes. Néanmoins, les écarts de dhp entre les essences, pour une densité donnée, sont généralement inférieurs à 1 cm.

L'éclaircie systématique permet d'obtenir de plus gros arbres lors de cette première éclaircie. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le dhp moyen de l'épinette blanche est de 10,7 cm avec une éclaircie sélective dont l'intensité de prélèvement est de 33,3 % alors qu'il est de 13,8 cm avec une éclaircie systématique (Figure 3). Toutefois, l'éclaircie systématique ne permet pas d'améliorer la qualité du peuplement résiduel et ni d'obtenir un gain technique en dhp.

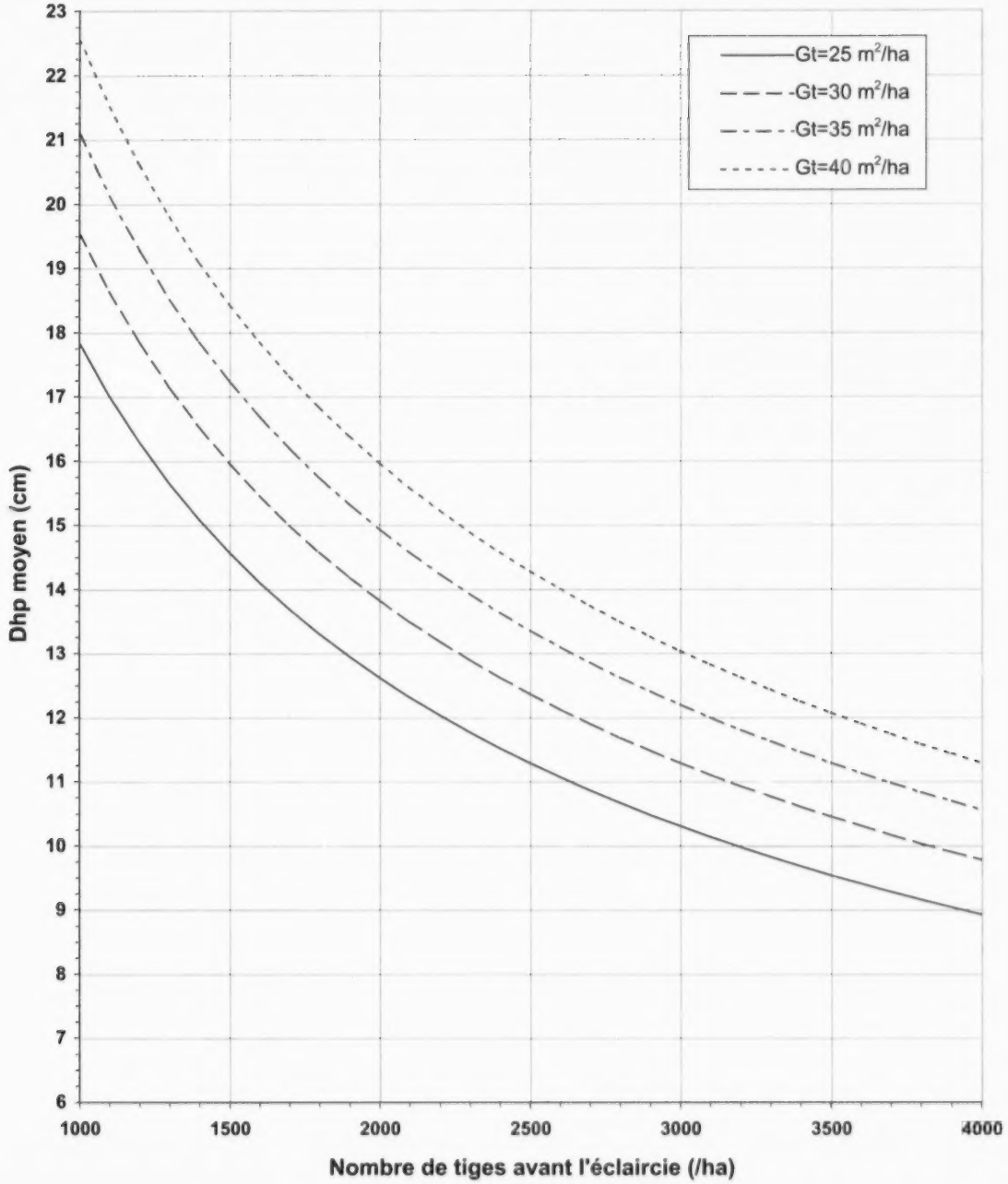


Figure 1

Dhp moyen des arbres coupés à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

Tableau 3

Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du dhp quadratique moyen des arbres coupés à la première éclaircie sélective par le bas

Espèce	b_0	b_1	b_2	b_3	CME (cm)	R^2 (%)
Épinette blanche	49,9344	-0,54260	0,55107	0,20231	0,132	97,7
Épinette de Norvège	35,9584	-0,50834	0,56367	0,20770	0,194	97,0
Mélèze laricin	54,486	-0,54246	0,55588	0,17894	0,151	97,9
Pin gris	71,340	-0,55179	0,53715	0,14930	0,126	97,8
Pin rouge	48,790	-0,53948	0,60603	0,16142	0,327	95,6

* Modèle de régression : $DHP_c = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2} Int^{\beta_3}$

L'attente d'une surface terrière supérieure (c'est-à-dire une éclaircie plus tardive) permet d'accroître le dhp des arbres coupés. Pour l'épinette blanche et un prélèvement en éclaircie sélective par le bas de 33,3 % et une densité de 2 000 tiges à l'hectare, le dhp est de 9,7 cm, lorsque la surface terrière est de 25 m²/ha alors qu'il atteint 11,6 cm lorsque la surface terrière est de 35 m²/ha. Toutefois, il est important de souligner qu'il s'agit du seul gain lié au report d'éclaircie puisque le dhp de toutes les récoltes subséquentes devrait être inférieur à celui d'un scénario d'une première éclaircie plus hâtive.

L'effet du nombre de tiges sur le dhp moyen des arbres coupés, en éclaircie sélective par le bas, est également très marqué quelles que soient l'essence, la surface terrière ou l'intensité d'éclaircie. Ainsi, pour une surface terrière de 25 m²/ha et un prélèvement de 33,3 %, le dhp de l'épinette blanche est de 14,1 cm pour une densité de 1 000 tiges à l'hectare alors qu'il n'est que de 6,6 cm pour une densité de 4 000 tiges à l'hectare, soit une diminution de 53 % (Figure 3).

2.1.2 Volume

Les volumes total et marchand des arbres coupés à la première éclaircie peuvent être estimés à l'aide du modèle de régression suivant :

$$V_c = \beta_0 Nt^{\beta_1} Gt^{\beta_2} Int^{\beta_3} \quad [3]$$

où V_c = Volume total ou marchand des arbres coupés (m³/ha)

Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)

Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m²/ha)

Int = Intensité d'éclaircie (% de surface terrière totale enlevée).

Les valeurs des coefficients de régression sont présentés au tableau 4. Ceux-ci varient selon l'espèce, le type de volume retenu (total ou marchand) et le type d'éclaircie. Les figures 4 à 13 illustrent différents résultats relatifs à ces modèles.

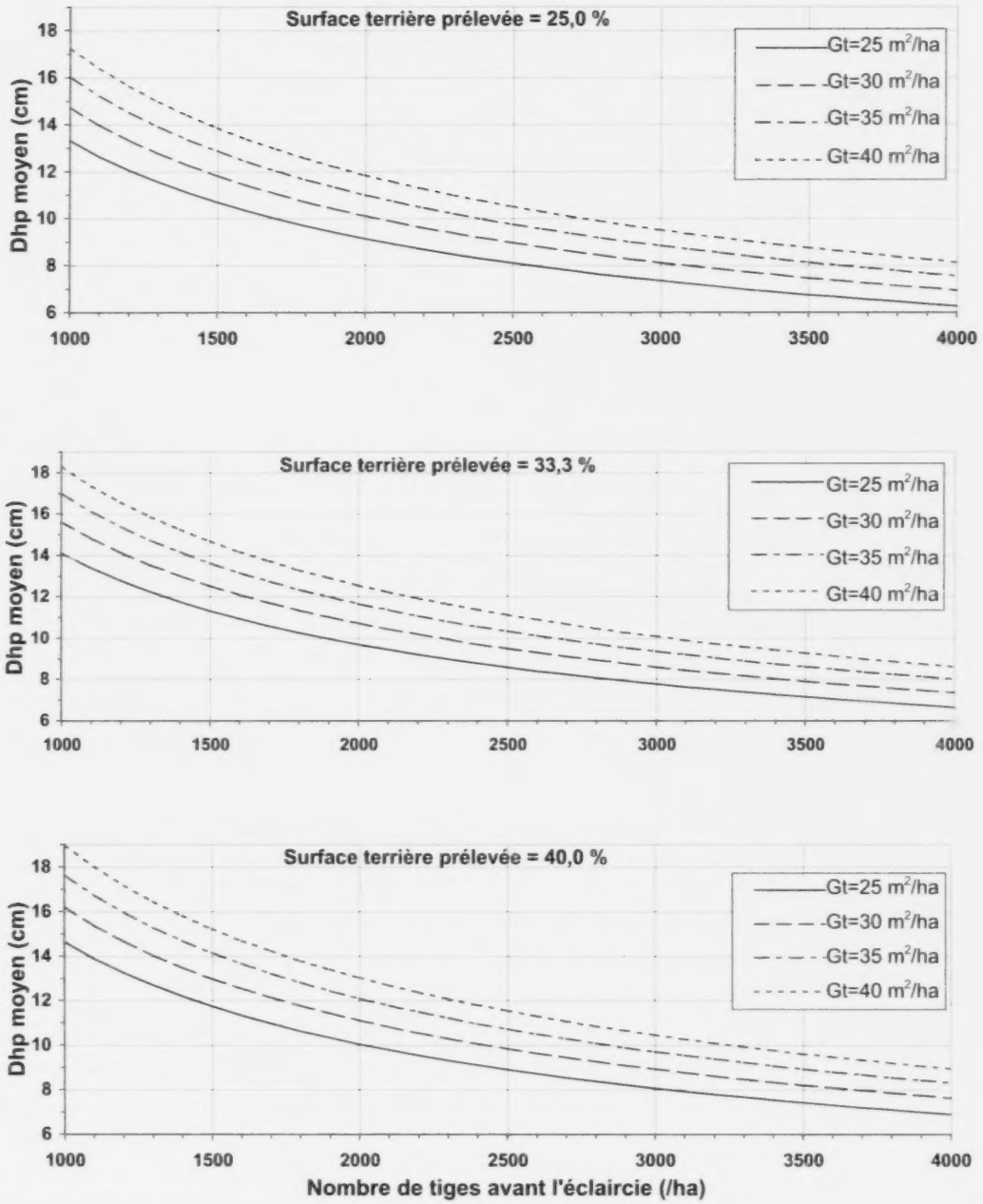
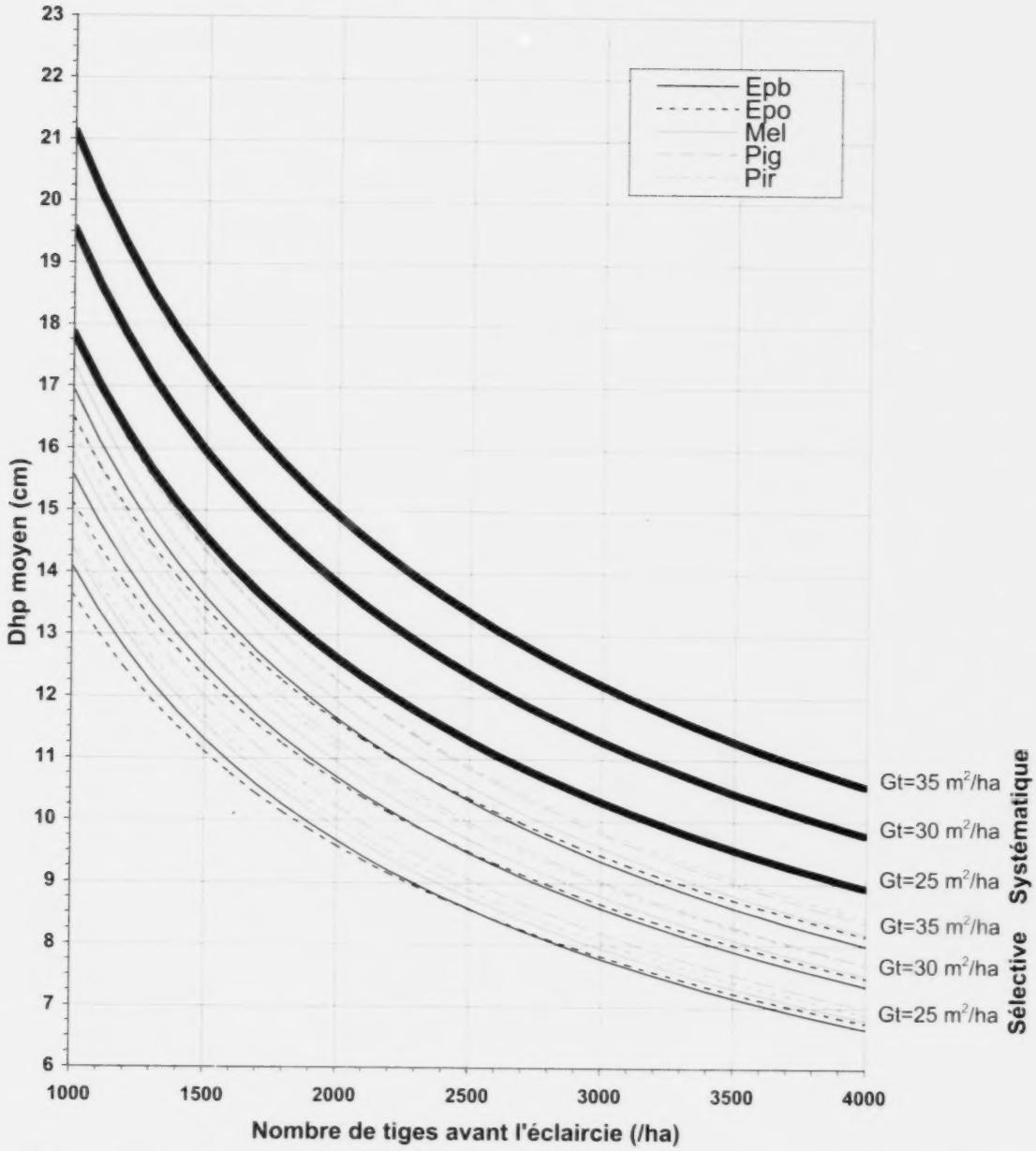


Figure 2

Dhp moyen de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.



Note : Les résultats pour les éclaircies systématiques (en traits plus épais) sont valables pour toutes les essences et les intensités d'éclaircie; ceux des éclaircies sélectives (en traits plus minces) varient selon les essences et sont valables seulement pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

Figure 3

Dhp moyen des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

Tableau 4

Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du volume des arbres coupés à la première éclaircie

Espèce	Paramètre estimé	Type d'éclaircie	b_0	b_1	b_2	b_3	CME (m^3/ha)	R^2 (%)
Épinette blanche	Volume total	Systématique	0,39927	-0,42246	1,38476	0,99992	12,46	97,1
		Sélective	0,11866	-0,34905	1,34074	1,15667	6,81	97,2
	Volume marchand	Systématique	0,74353	-0,61276	1,58133	0,99994	13,96	97,1
		Sélective	0,24329	-0,85170	1,91375	1,37657	15,49	95,8
Épinette de Norvège	Volume total	Systématique	0,14297	-0,23987	1,22002	0,99992	1,72	99,2
		Sélective	0,08630	-0,24848	1,22924	1,11123	0,75	99,6
	Volume marchand	Systématique	0,21596	-0,42165	1,44508	0,99992	3,97	98,3
		Sélective	0,09628	-0,68726	1,82640	1,32425	13,77	94,7
Mélèze laricin	Volume total	Systématique	0,12857	-0,21104	1,21094	0,99992	0,61	99,8
		Sélective	0,11037	-0,25497	1,22327	1,09141	0,60	99,7
	Volume marchand	Systématique	0,21519	-0,44996	1,52573	0,99987	4,18	98,5
		Sélective	0,16065	-0,79779	1,98643	1,28527	15,92	95,2
Pin gris	Volume total	Systématique	0,31090	-0,39470	1,35140	0,99992	5,52	97,6
		Sélective	0,18097	-0,42927	1,36749	1,14979	3,97	98,7
	Volume marchand	Systématique	0,57854	-0,58343	1,53734	0,99991	7,93	96,7
		Sélective	0,50096	-0,86976	1,81912	1,27699	12,33	94,2
Pin rouge	Volume total	Systématique	0,23655	-0,38071	1,33451	0,99991	3,40	98,3
		Sélective	0,10979	-0,35307	1,34608	1,10313	2,56	98,3
	Volume marchand	Systématique	0,44296	-0,57370	1,52237	0,99991	4,08	98,1
		Sélective	0,21909	-0,74798	1,78480	1,22771	8,51	95,6

* Modèle de régression : $V_c = \beta_0 \, Nt^{\beta_1} \, Gt^{\beta_2} \, Int^{\beta_3}$

Le volume total et le volume marchand de l'épinette blanche à la première éclaircie systématique sont présentés aux figures 4 et 5 respectivement. Tout comme pour le dhp, le volume des arbres coupés est d'autant plus faible que le nombre de tiges est élevé. Pour une surface terrière de 25 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 %, le volume total coupé est de 61,9 m^3/ha pour une densité de 1 000 tiges à l'hectare alors qu'il est de 34,5 m^3/ha pour une densité de 4 000 tiges à l'hectare, soit une diminution de 44,3 %. Dans les mêmes conditions, la diminution du volume marchand est encore plus importante ; elle est de 57,3 %, ce qui équivaut à des volumes marchands de 58,3 et 24,9 m^3/ha pour des densités de 1 000 et 4 000 tiges à l'hectare respectivement (Figure 5). La plus faible proportion de volume marchand

dans le cas d'un nombre élevé de tiges explique cet écart accru. Le volume marchand représente 94% du volume total dans le premier cas (1 000 tiges à l'hectare) alors qu'il ne constitue que 72% pour la densité la plus élevée.

Contrairement au dhp moyen, le volume varie selon le taux de prélèvement lors d'une éclaircie systématique. Plus elle est de forte intensité, plus le volume coupé augmente. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le volume total d'épinette blanche coupé est de 44,7 m^3/ha pour une intensité d'éclaircie de 25% alors qu'il est de 71,5 m^3/ha à une intensité de 40% (Figure 4). En volume marchand, ces valeurs sont de 38,2 et 61,1 m^3/ha respectivement (Figure 5), soit une augmentation en valeur absolue légèrement plus faible (22,9 au lieu de 26,8 m^3/ha) mais semblable en pourcentage, soit près de 60% .

Le volume des arbres coupés en éclaircie sélective par le bas dépend également du nombre de tiges et de la surface terrière avant l'éclaircie ainsi que de l'intensité d'éclaircie. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le volume total de l'épinette blanche coupé est de 33,1 m^3/ha pour une intensité d'éclaircie de 25% alors qu'il est de 57,0 m^3/ha à une intensité de 40% (Figure 6). Pour le volume marchand, les valeurs sont légèrement plus faibles, soit 21,2 et 40,4 m^3/ha respectivement pour les deux mêmes intensités de prélèvement. Il s'agit d'un écart légèrement plus faible que celui du volume total, soit 19,2 m^3/ha au lieu de 23,9 m^3/ha, mais plus important en pourcentage soit un écart de 91% au lieu de 72% (Figure 7).

Les figures 8 à 10 présentent le volume total des arbres coupés en fonction des diverses espèces étudiées en plus d'illustrer les différences entre les deux types d'éclaircies pour un prélèvement de 33,3% et des surfaces terrières variant de 25 à 35 m^2/ha (un graphique par surface terrière). Le volume marchand est présenté aux figures 11 à 13. La récolte en volume varie beaucoup plus selon les espèces que le dhp moyen. Pour un même taux de prélèvement et un même nombre de tiges initiales, l'épinette blanche permet généralement de récolter un volume plus élevé que les autres essences ; à l'opposé, le pin rouge est l'espèce qui procure le plus faible volume à cette première éclaircie.

L'éclaircie systématique permet de récolter un volume de bois supérieur à celui de l'éclaircie sélective. Pour une intensité de prélèvement de 33,3% ainsi qu'une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le volume total prélevé de l'épinette blanche est de 46,1 m^3/ha avec une éclaircie sélective alors qu'il est de 59,5 m^3/ha avec une éclaircie systématique (Figure 9), soit une augmentation de 13,4 m^3/ha ou 29%. Dans ces mêmes conditions, les différences de volumes marchands sont encore plus importantes, soit de 19,5 m^3/ha ou 62% (31,4 et 50,9 m^3/ha respectivement) (Figure 12). L'attente d'une surface terrière supérieure avant l'éclaircie permet également d'accroître le volume des arbres coupés. Pour l'épinette blanche et un taux de prélèvement en éclaircie sélective par le bas de 33,3% et 2 000 tiges à l'hectare, le volume total prélevé est de 36,1 m^3/ha lorsque la surface terrière avant l'éclaircie est de 25 m^2/ha alors qu'il atteint 56,7 m^3/ha lorsqu'elle est de 35 m^2/ha, soit une augmentation de 20,6 m^3/ha ou 57% (Figures 8 et 10). Comme nous le verrons ultérieurement, ce report d'éclaircie implique des conséquences négatives sur la grosseur des arbres coupés pour toutes les coupes subséquentes.

L'effet du nombre de tiges sur le volume des arbres coupés est important quels que soient l'essence, la surface terrière, l'intensité d'éclaircie ou le type d'éclaircie. Ainsi, pour une surface terrière de 25 m^2/ha et un prélèvement de 33,3%, le volume total de l'épinette blanche coupée lors d'une éclaircie sélective est de 46,0 m^3/ha pour une densité de 1 000 tiges/ha alors qu'il n'est que de 28,3 m^3/ha pour une densité de 4 000 tiges/ha, soit une diminution de 38% (Figure 8). Les différences en volume marchand sont proportionnellement plus importantes avec une différence de 69% dans ces mêmes conditions (Figure 11), soit des volumes de 40,0 et 12,3 m^3/ha respectivement.

Il est important de souligner le faible volume des arbres coupés à la première éclaircie. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha, un nombre de tiges de 2 000 à l'hectare et un prélèvement de 33,3%, le volume marchand des arbres coupés varie selon les essences de 33,4 à 50,9 m^3/ha pour une éclaircie systématique et de 23,8 à 31,5 m^3/ha seulement pour une éclaircie sélective par le bas (Figure 12).

2.1.3 Nombre de tiges

Le nombre de tiges coupées à la première éclaircie systématique est directement proportionnel au taux de prélèvement et au nombre de tiges avant l'éclaircie. La figure 14 illustre cette relation ; elle est valable quelle que soit la surface terrière initiale ou l'espèce.

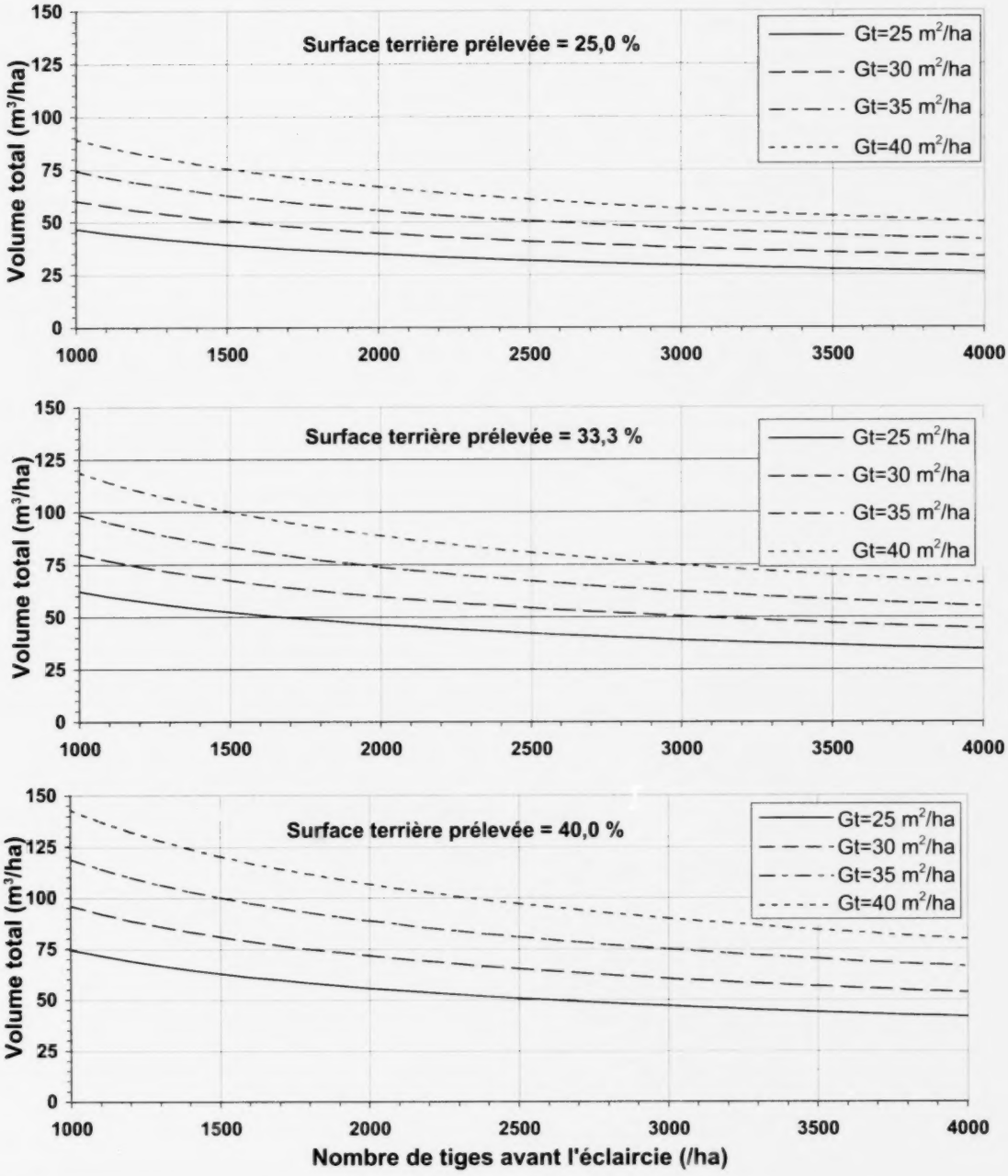


Figure 4

Volume total de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

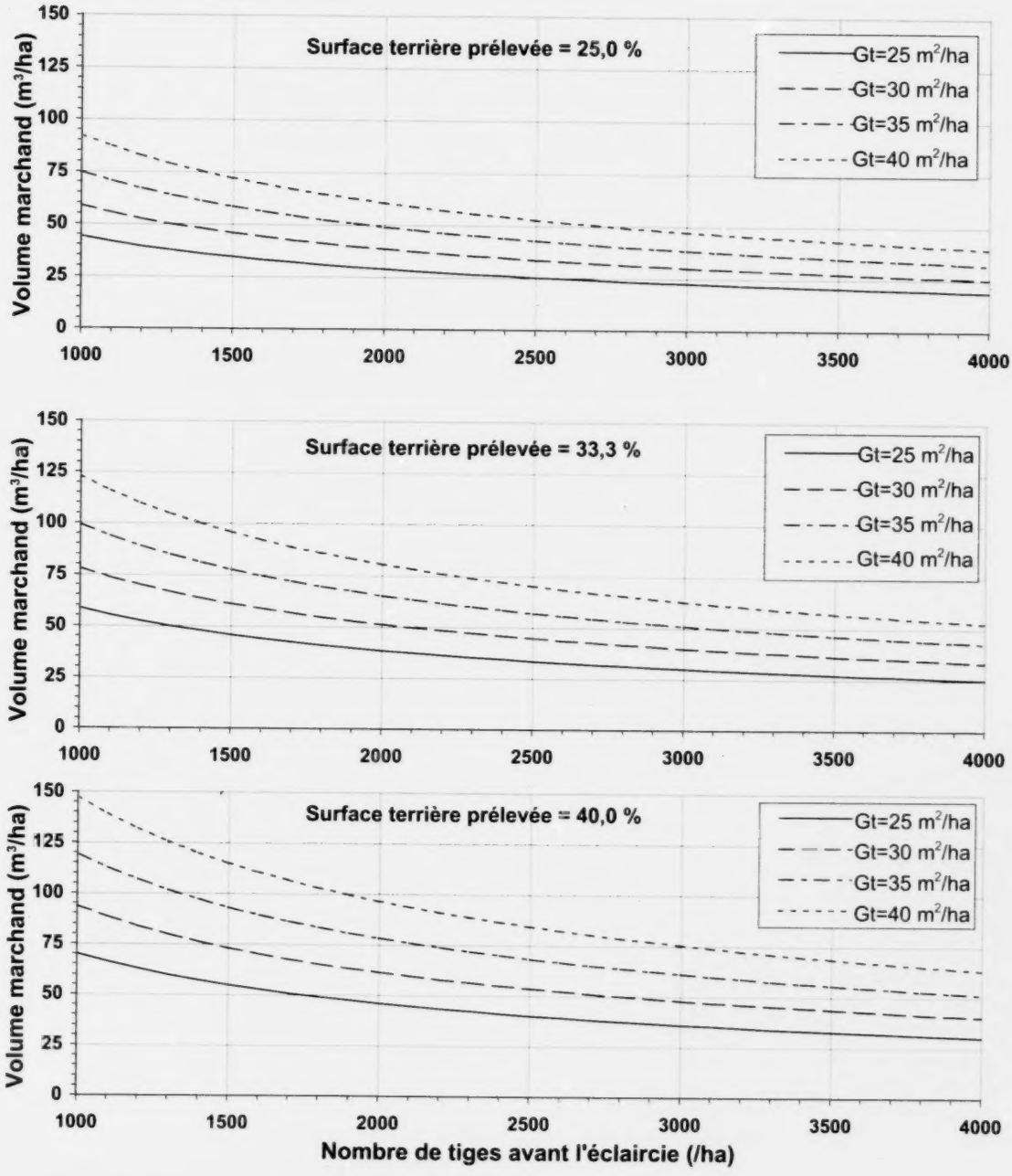


Figure 5

Volume marchand de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

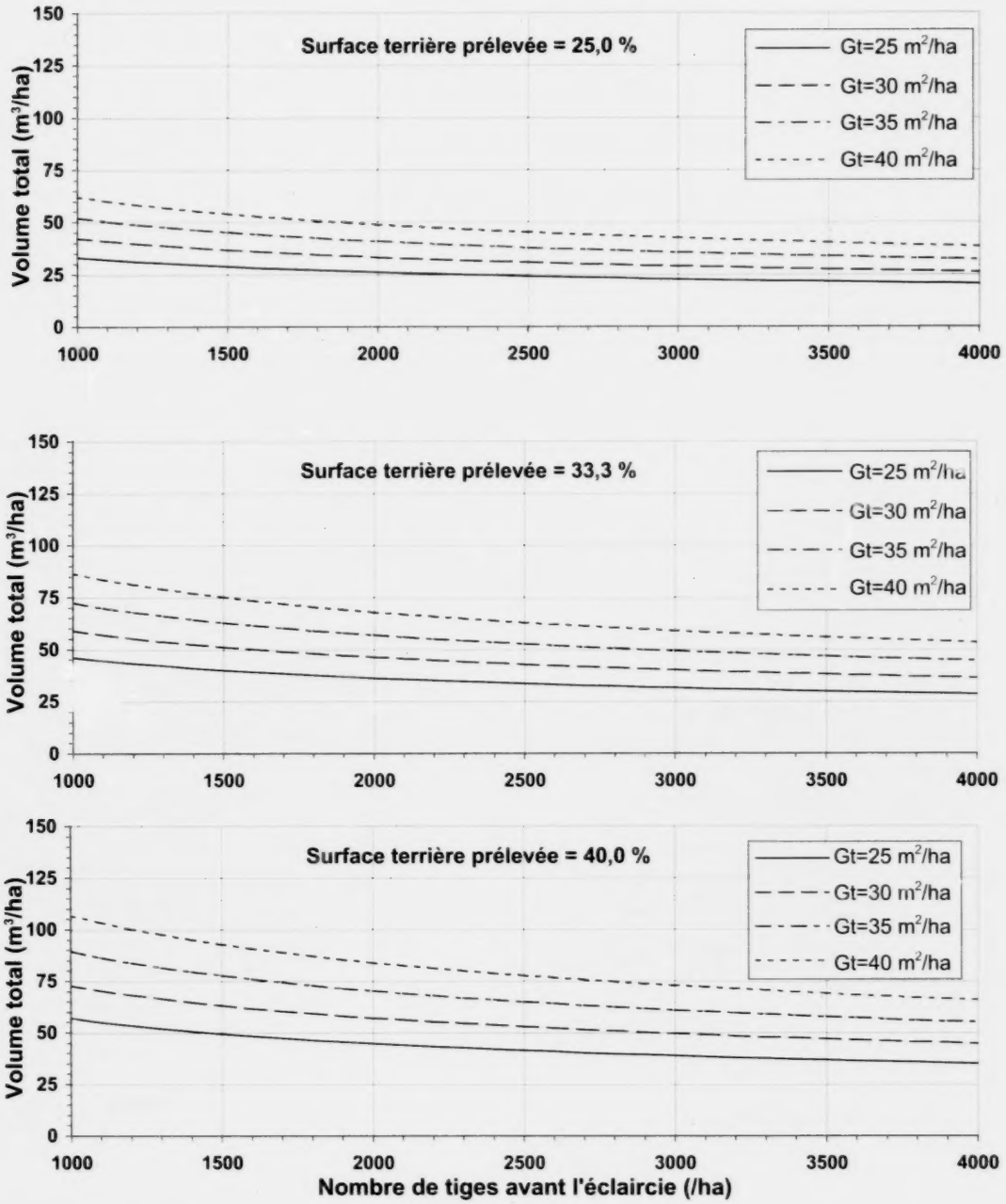


Figure 6

Volume total de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

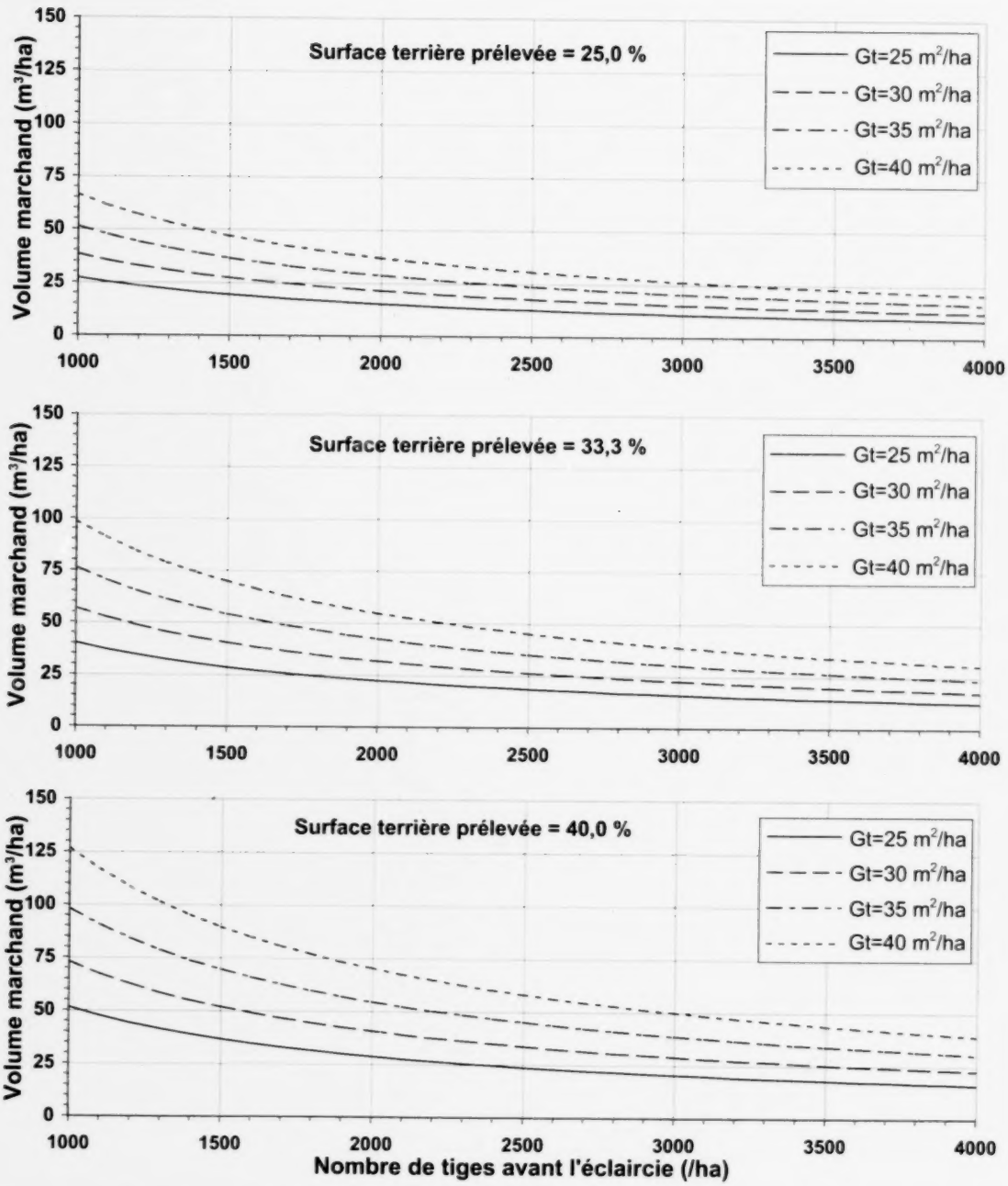


Figure 7

Volume marchand de l'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

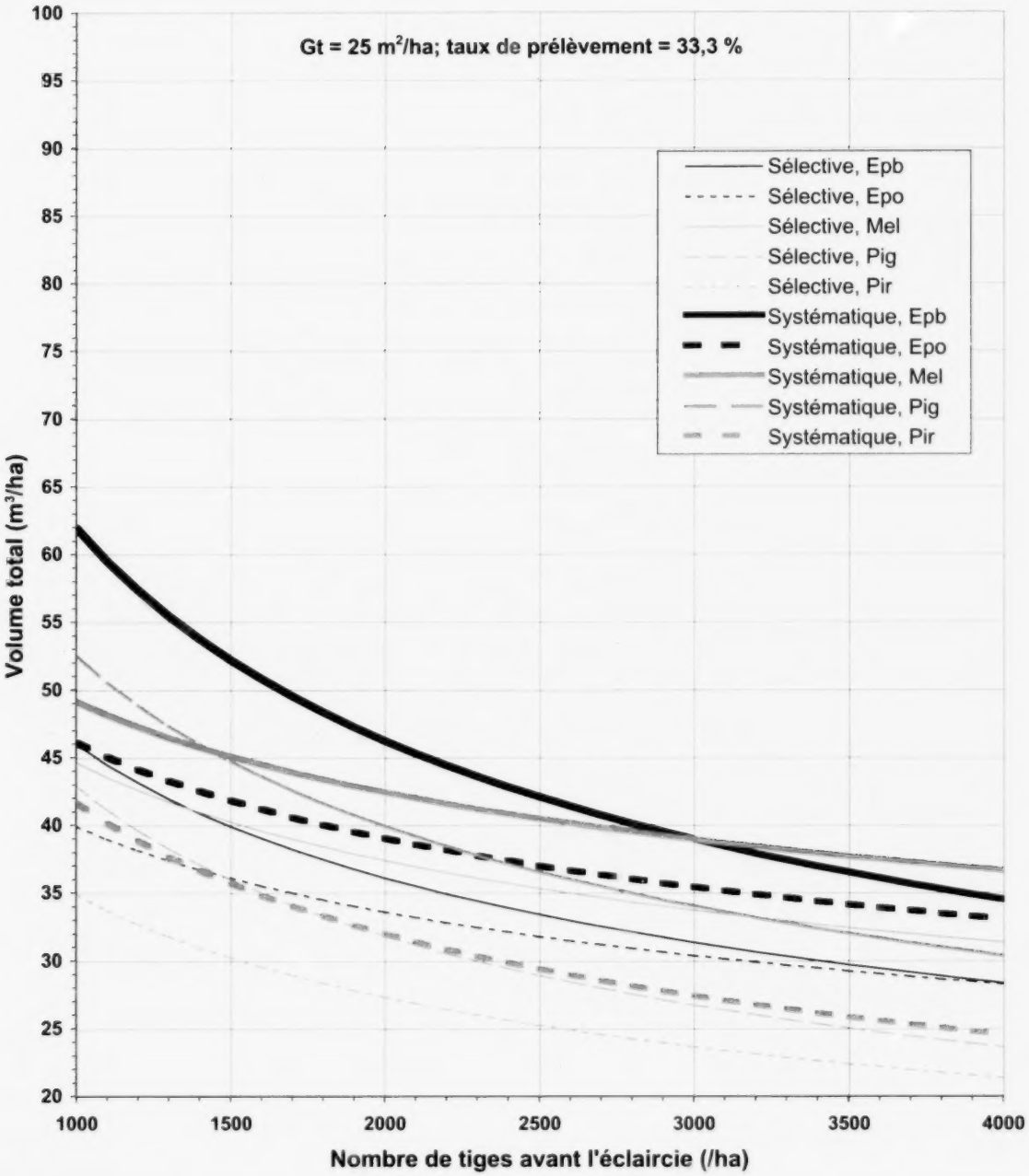


Figure 8

Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

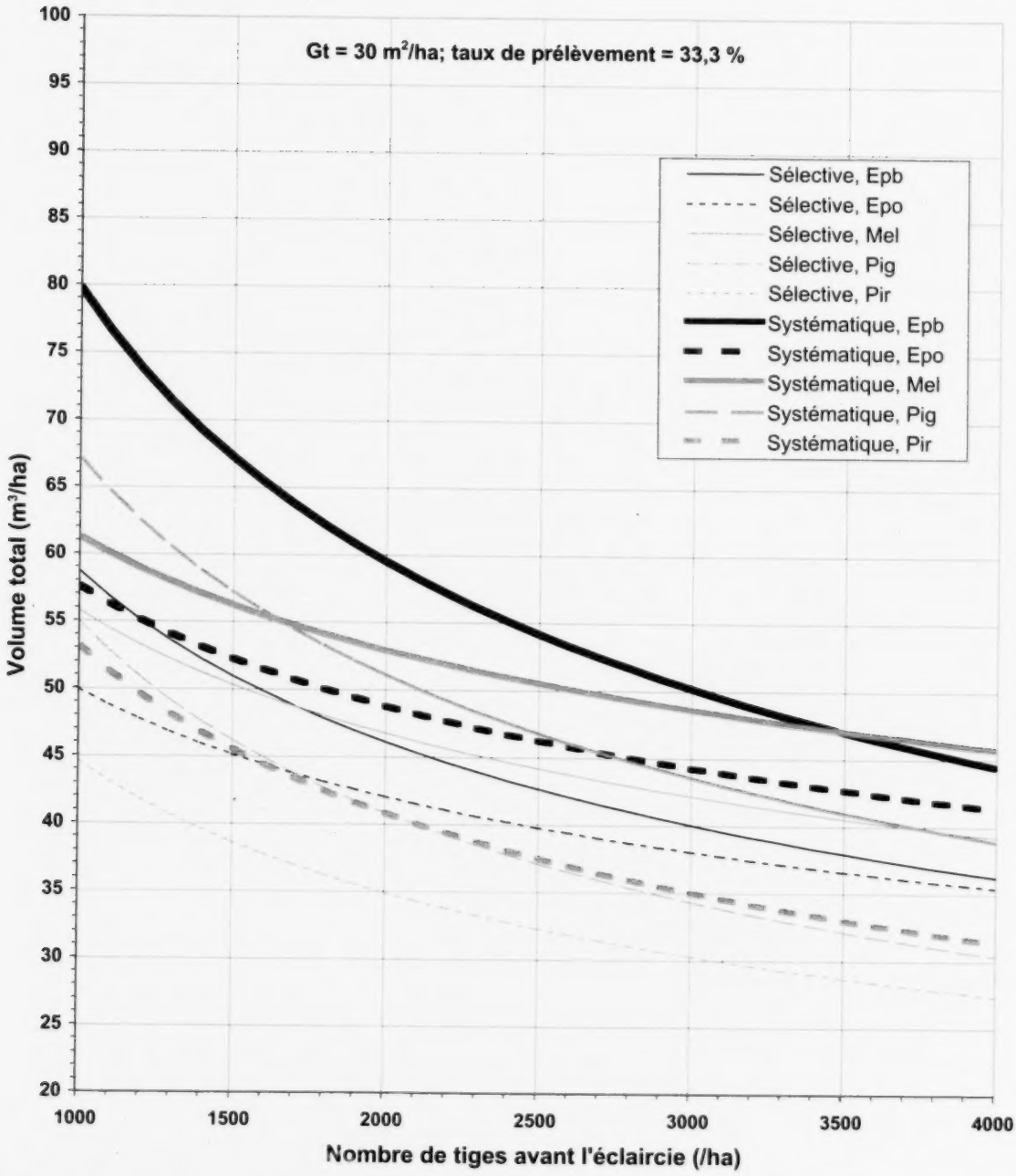


Figure 9

Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

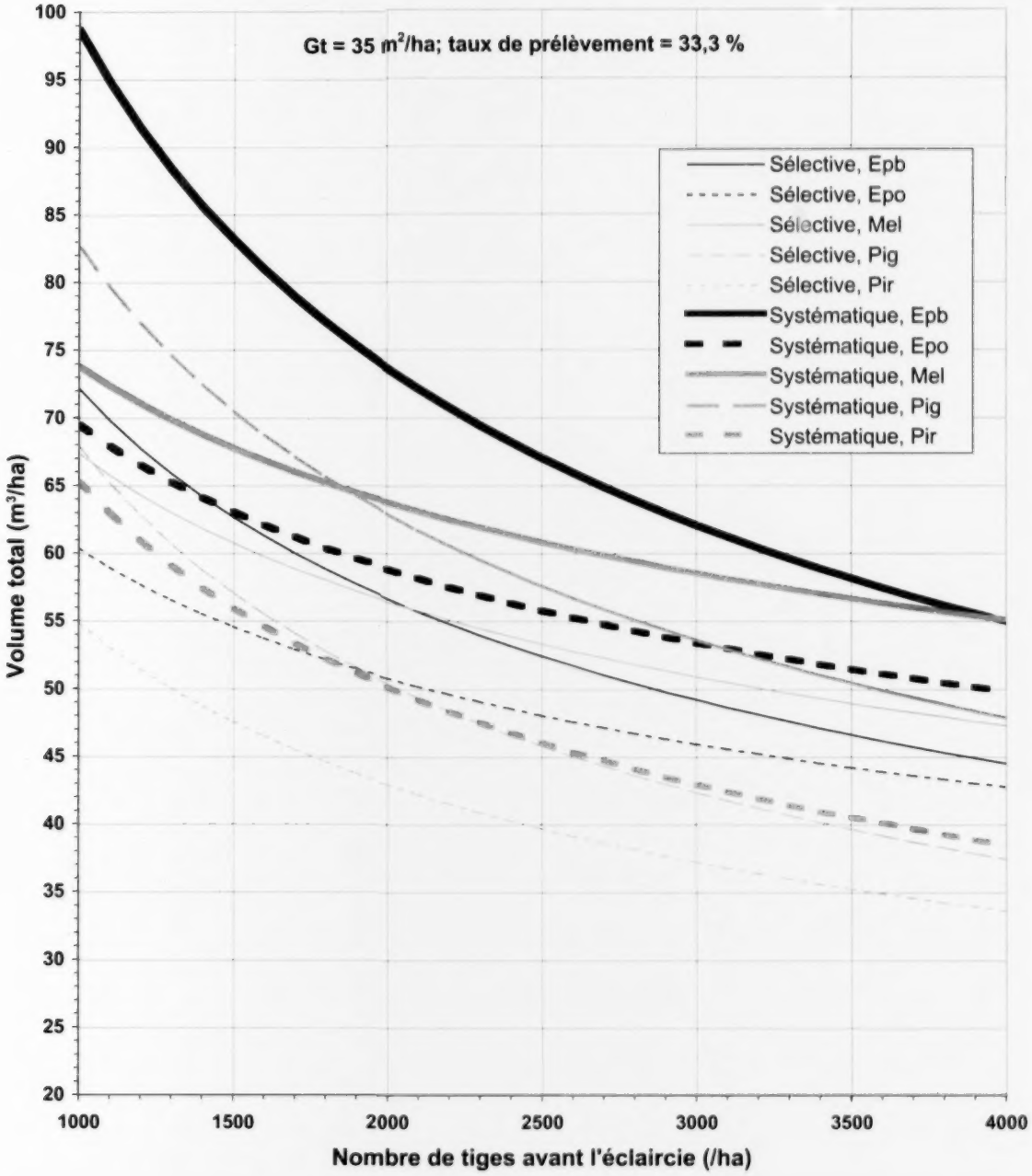


Figure 10

Volume total des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

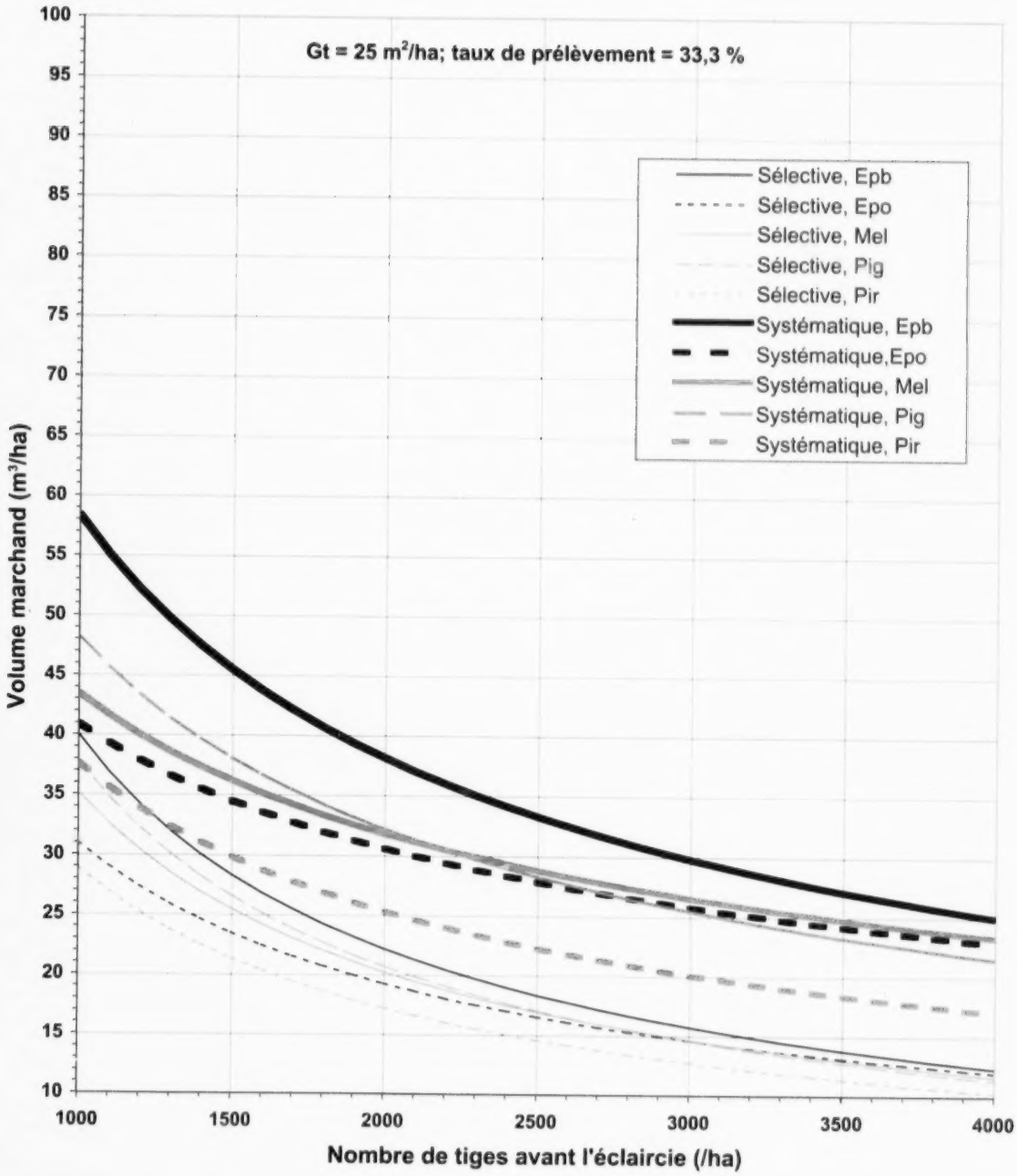


Figure 11

Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

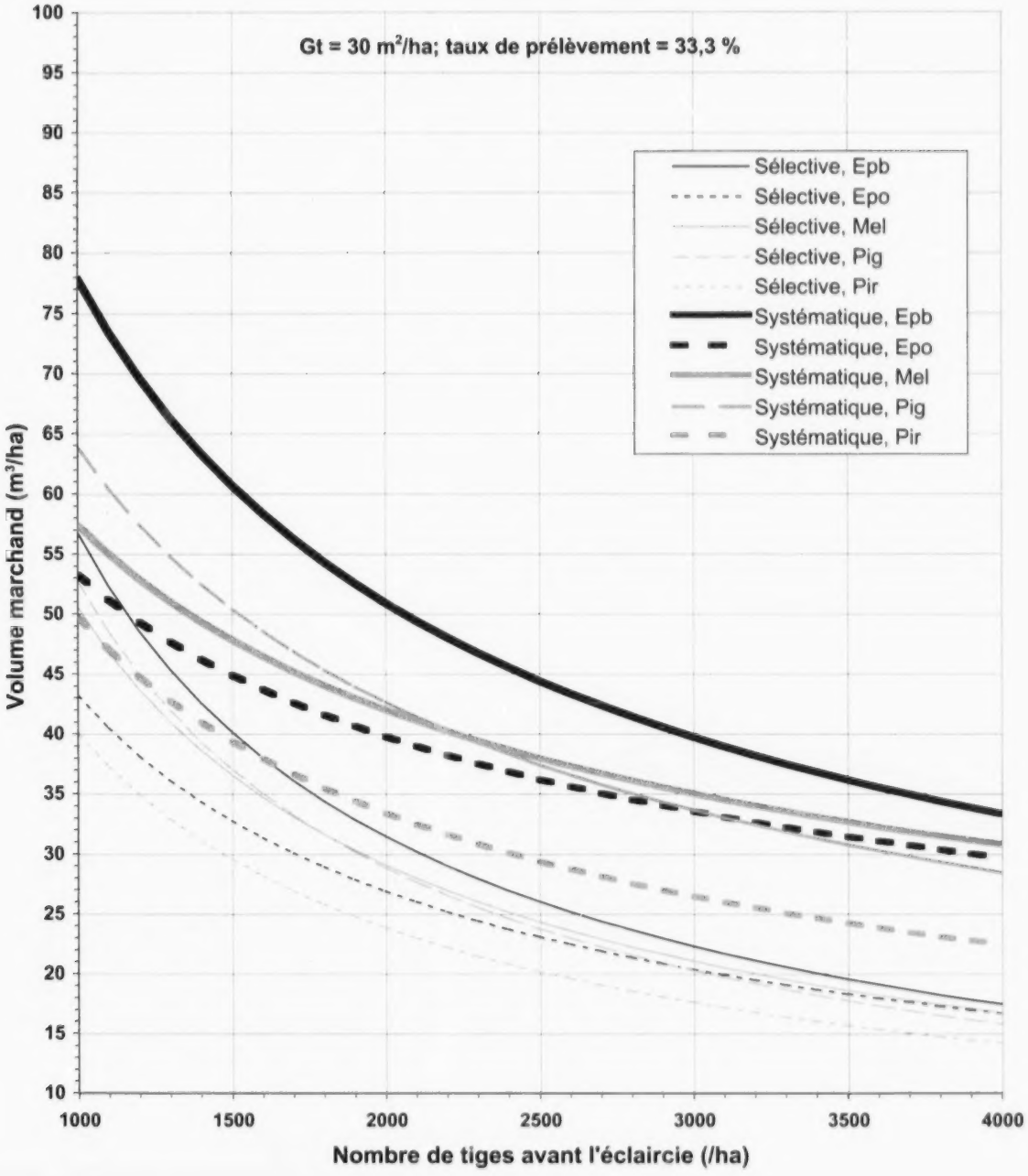


Figure 12

Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

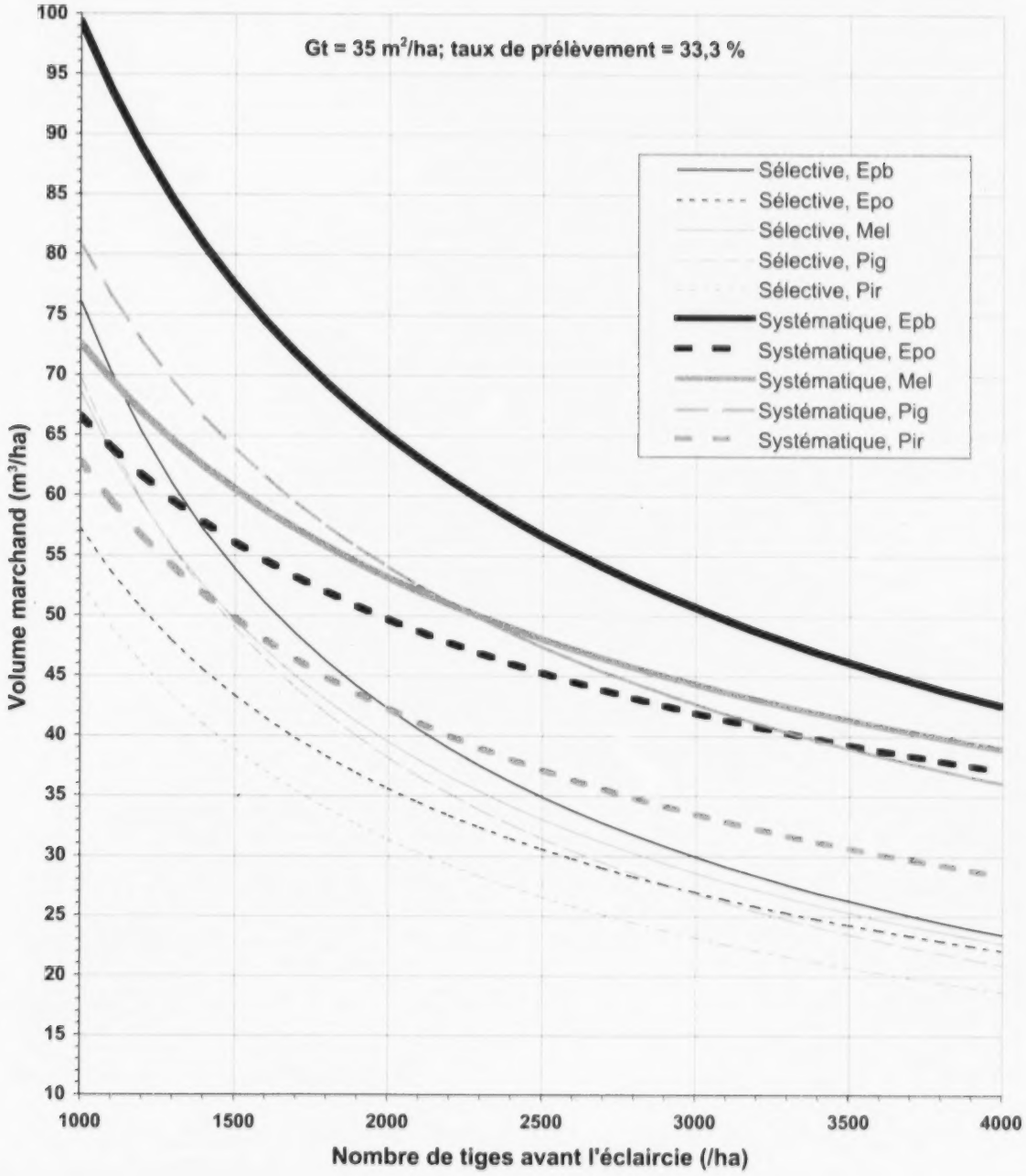


Figure 13

Volume marchand des arbres coupés à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

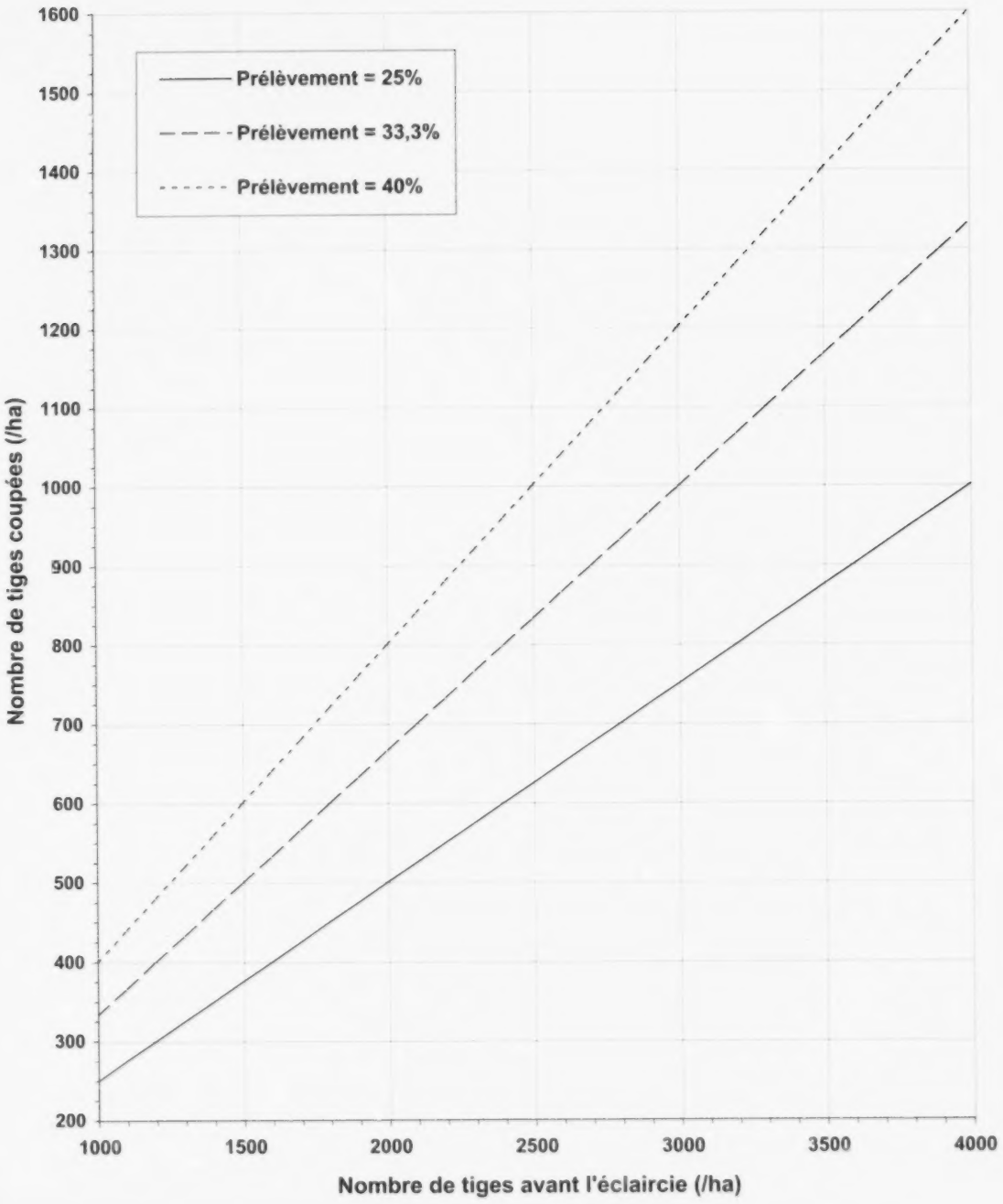


Figure 14

Nombre de tiges coupées à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière prélevée et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

Pour l'éclaircie sélective, en plus des paramètres mentionnés précédemment, le nombre de tiges coupées dépend de la surface terrière avant l'éclaircie ainsi que de l'espèce. La relation mathématique suivante permet de calculer le nombre de tiges coupées :

$$Nt_c = Gt_c / (\pi (DHP_c / 200)^2) \quad [4]$$

où Nt_c = Nombre de tiges coupées (/ha)

Gt_c = Surface terrière totale coupée (m^2/ha)

DHP_c = Diamètre quadratique moyen des arbres coupés (cm).

La figure 15 présente quelques résultats pour l'épinette blanche et diverses intensités d'éclaircies sélectives par le bas ainsi que diverses valeurs de surfaces terrières avant l'éclaircie. La surface terrière avant l'éclaircie a un impact négligeable sur le nombre de tiges coupées. En conséquence, on peut anticiper que le report de l'éclaircie, c'est-à-dire l'utilisation d'une valeur de surface terrière plus élevée, laissera le peuplement résiduel avec un nombre de tiges élevé et ce jusqu'à la coupe finale. Ce report devrait engendrer une plus faible croissance en diamètre de ces peuplements.

Comme pour l'éclaircie systématique, le nombre de tiges coupées est proportionnel au nombre de tiges avant l'éclaircie et à l'intensité de l'éclaircie. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, 937 tiges d'épinette blanche à l'hectare seront coupées pour une intensité d'éclaircie de 25 % alors que ce nombre sera de 1 240 pour une intensité de 40 % (Figure 15).

La figure 16 compare le nombre de tiges coupées à la première éclaircie en fonction des diverses espèces étudiées ainsi qu'entre les deux types d'éclaircies. Le nombre de tiges coupées est fonction de la surface terrière coupée et du dhp moyen des arbres coupés. Pour une même surface terrière coupée, le nombre de tiges coupées sera inversement proportionnel au dhp moyen de ces tiges. Puisque celui-ci est généralement inférieur pour les épinettes que pour les deux espèces de pin (Figure 3), le nombre de tiges coupées sera supérieur (Figure 16). Tout comme pour le dhp moyen des arbres coupés, le mélèze laricin donne des résultats intermédiaires à ces deux groupes. Néanmoins, les écarts entre les essences sont généralement faibles.

Pour une même intensité d'éclaircie, l'éclaircie sélective exige la coupe d'un nombre beaucoup plus élevé de tiges que l'éclaircie systématique (Figure 16) puisque le dhp moyen des arbres coupés est plus faible. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, 1 112 tiges à l'hectare d'épinette blanche sont coupées selon une éclaircie sélective et une intensité de prélèvement de 33,3 % alors que ce nombre est de 667 tiges seulement pour une éclaircie systématique (Figure 16).

L'effet du nombre initial de tiges sur le nombre de tiges coupées est très marqué quels que soient l'essence, la surface terrière, l'intensité ou le type d'éclaircie. Ainsi, pour une éclaircie sélective par le bas, une surface terrière de 25 m^2/ha et un prélèvement de 33,3 %, 534 tiges à l'hectare d'épinette blanche seront coupées pour une densité de 1 000 tiges à l'hectare alors que cette valeur atteindra 2 404 tiges pour une densité de 4 000 tiges à l'hectare, soit une hausse de 350 % (Figure 15).

2.1.4 Volume par tige

Le volume moyen par tige est obtenu en divisant le volume total des arbres coupés (Section 2.1.2) par le nombre de tiges coupées (Section 2.1.3). Il dépend des paramètres énumérés précédemment, soit le nombre de tiges et la surface terrière avant l'éclaircie, l'intensité d'éclaircie dans le cas des éclaircies sélectives, l'espèce et le type d'éclaircie.

Le volume moyen des arbres résiduels avant ou après l'éclaircie systématique de même que celui des arbres coupés sont théoriquement identiques. Le volume moyen des arbres coupés dépend uniquement du nombre de tiges et de la surface terrière avant l'éclaircie de même que de l'espèce. Pour l'épinette blanche, la relation entre ces paramètres est présentée à la figure 17. Tout comme pour le dhp, le volume moyen par tige coupée est d'autant plus faible que le nombre de tiges avant l'éclaircie est élevé. Pour une surface terrière de 25 m^2/ha, le volume moyen par tige coupée est de 186,0 dm^3 pour une densité de 1 000 tiges à l'hectare alors qu'il n'est que de 25,9 dm^3 pour une densité de 4 000 tiges à l'hectare, soit une diminution de 86 %. Cette diminution est relativement plus importante que celle observée pour le dhp (Section 2.1.1). L'utilisation d'une surface terrière supérieure avant l'éclaircie permet d'accroître le volume moyen des arbres coupés (Figure 17) : comme mentionné précédemment pour le dhp, cette approche se traduit toutefois par une baisse du volume moyen pour toutes les coupes subséquentes.

Les résultats d'une éclaircie sélective par le bas de l'épinette blanche sont présentés à la figure 18. Comme pour l'éclaircie systématique, le volume moyen par tige coupée en éclaircie sélective par le bas dépend du nombre de tiges et de la surface terrière avant l'éclaircie. Toutefois,

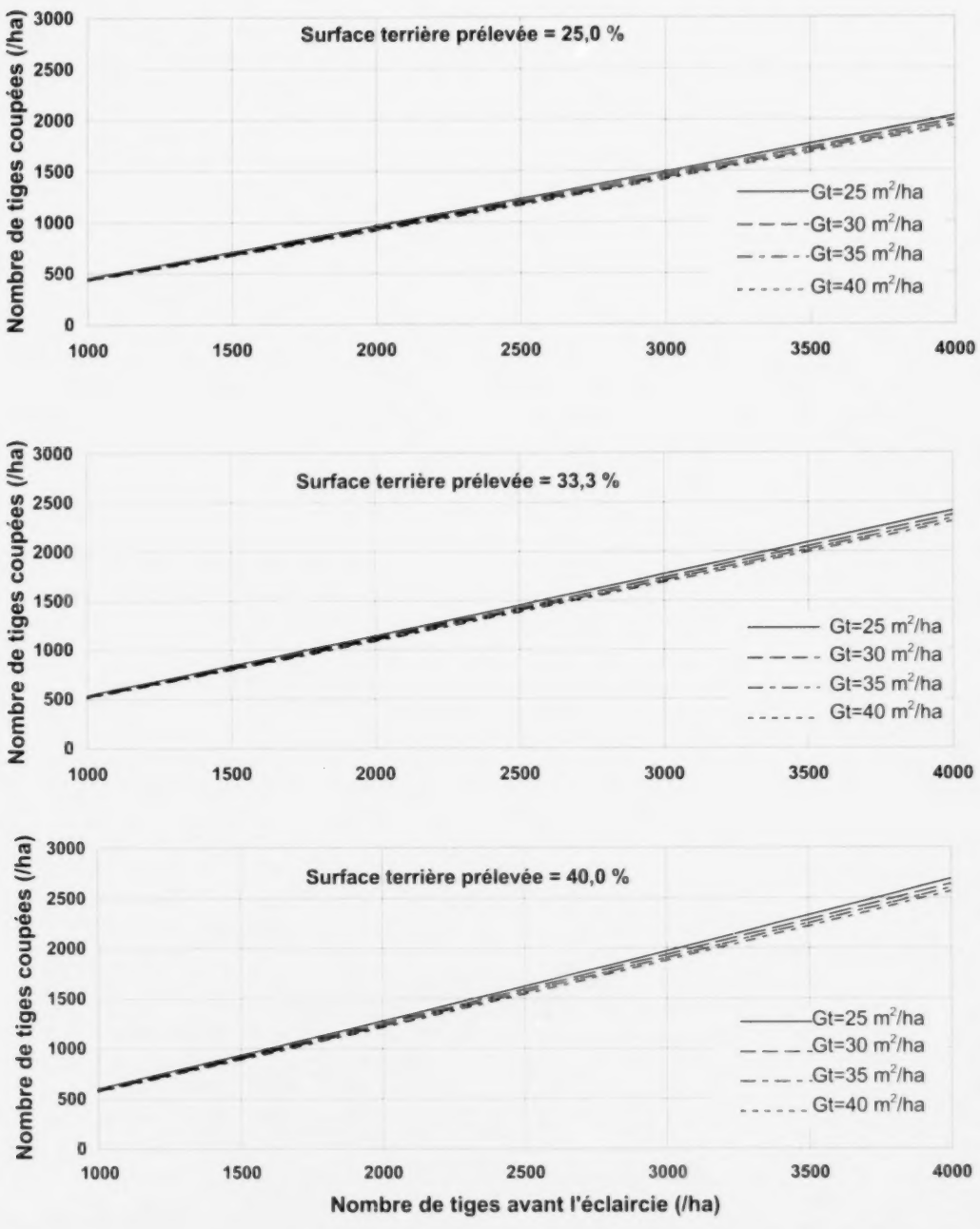
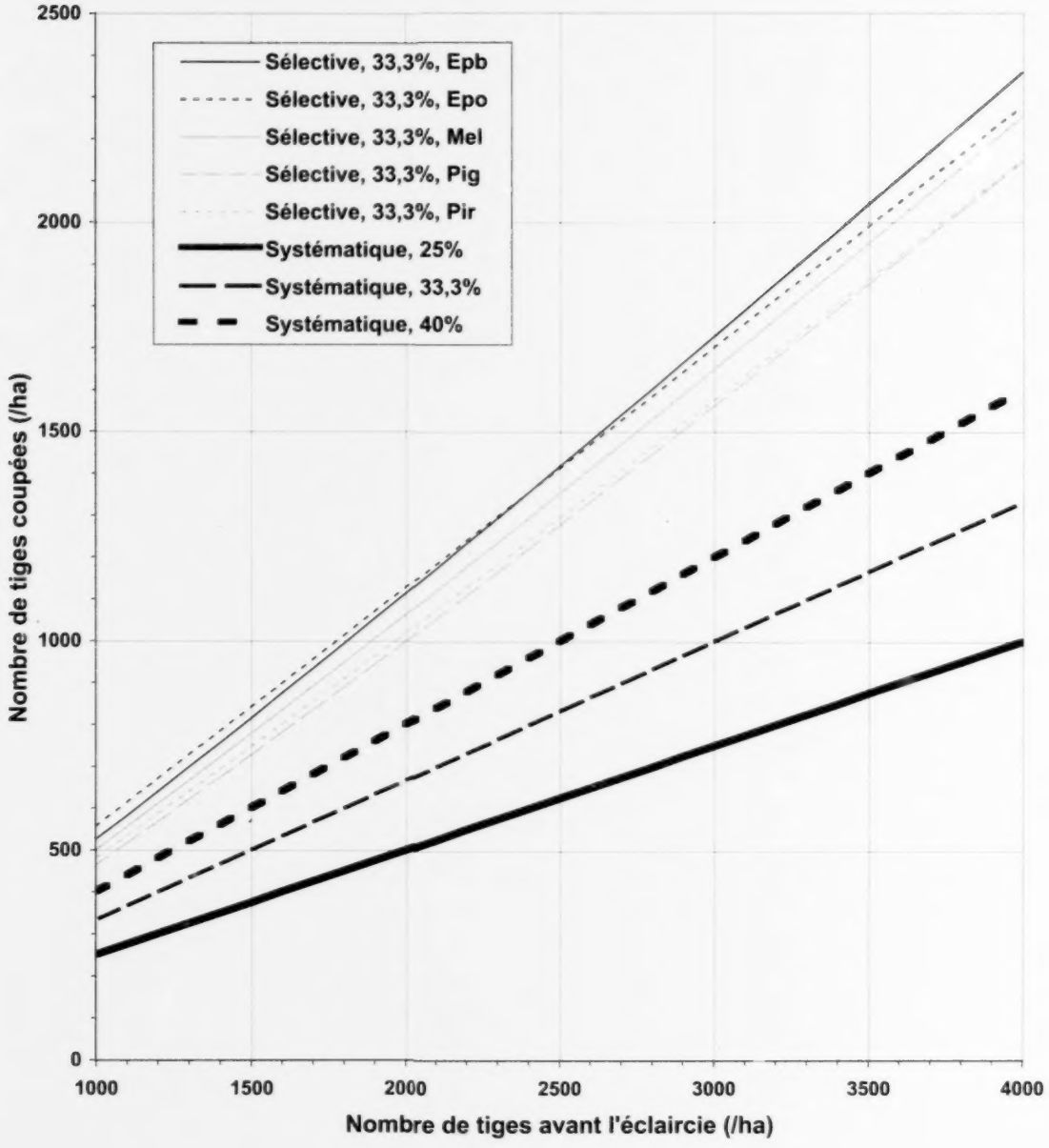


Figure 15

Nombre de tiges d'épinette blanche coupées à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.



Note : Les résultats pour les éclaircies systématiques sont valables pour toutes les essences et les surfaces terrières avant l'éclaircie; ceux des éclaircies sélectives varient selon les essences et sont valables seulement pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière et une surface terrière de 30 m^2/ha avant l'éclaircie.

Figure 16

Nombre de tiges coupées à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, du taux de prélèvement de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

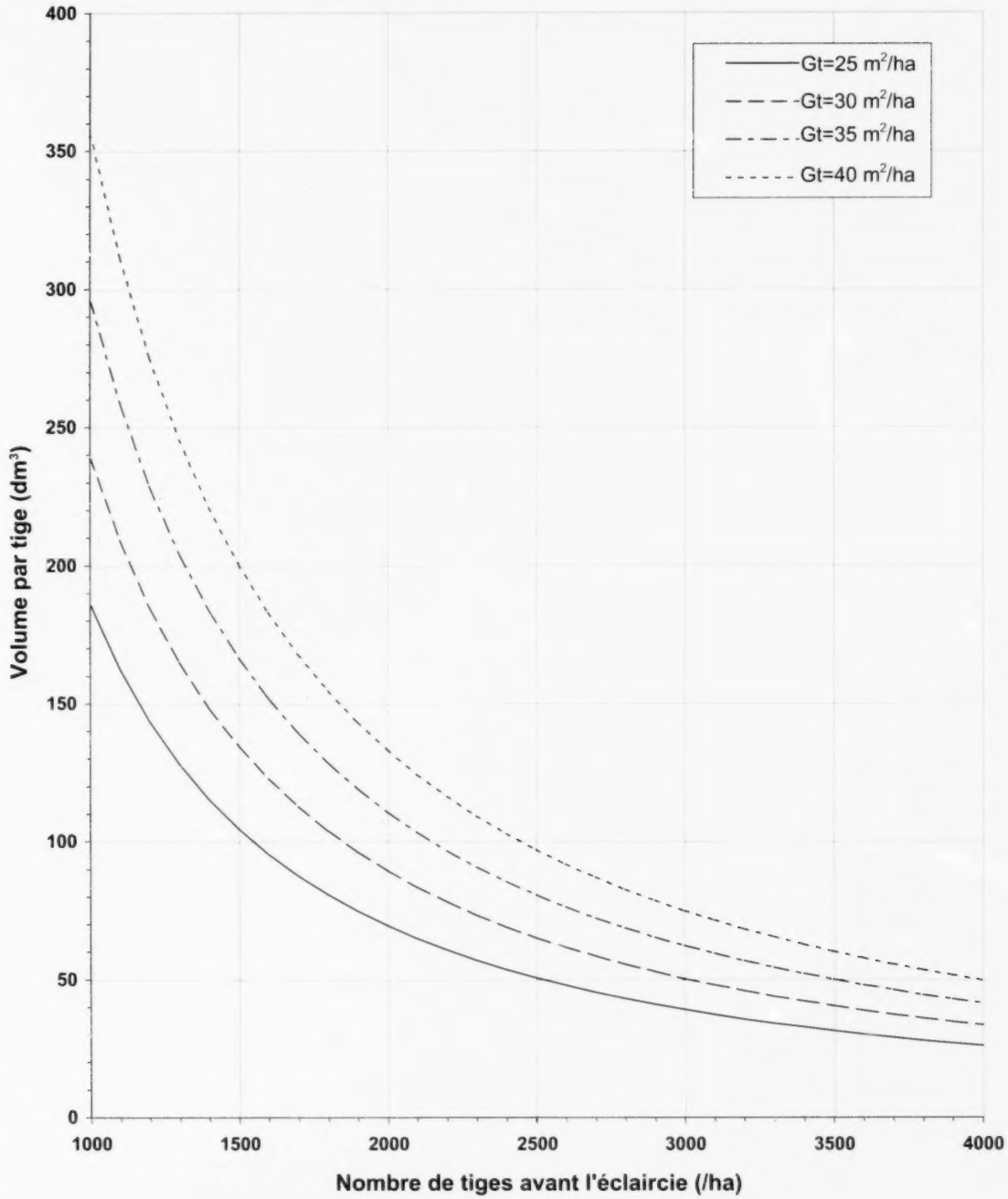


Figure 17

Volume moyen par tige d'épinette blanche coupée à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

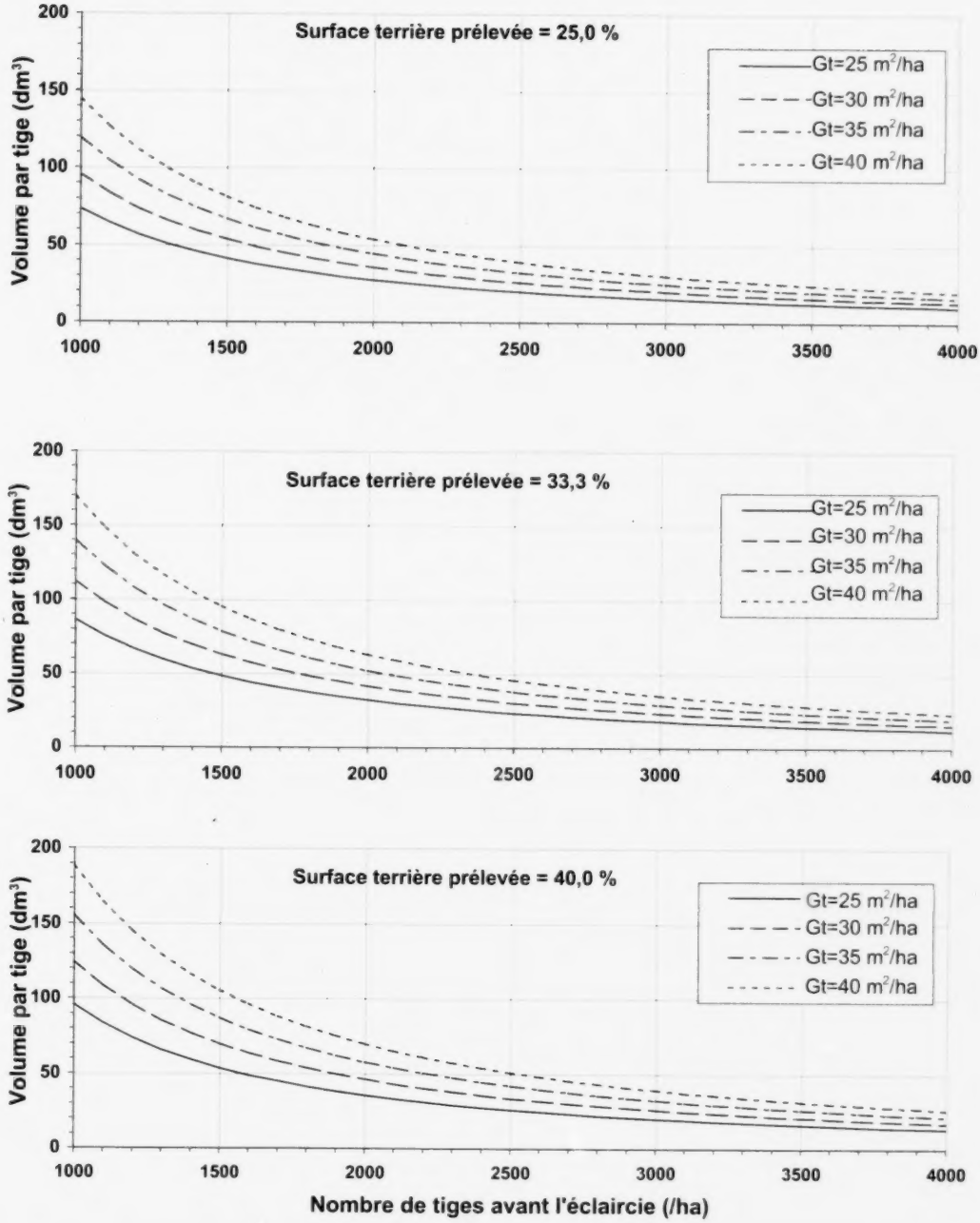


Figure 18

Volume moyen par tige d'épinette blanche coupée à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

contrairement à l'éclaircie systématique, il varie également selon l'intensité d'éclaircie ; plus elle est de forte intensité, plus le volume moyen par tige coupée augmente. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le volume moyen par tige coupée est de 35,3 dm^3 pour une intensité d'éclaircie de 25 % alors qu'il est de 45,9 dm^3 à une intensité de 40 % (Figure 18). L'effet de l'intensité d'éclaircie sur le volume moyen des tiges coupées est faible comparativement à celui du nombre de tiges avant l'éclaircie.

Les figures 19 à 21 permettent de comparer le volume moyen des arbres coupés en fonction des diverses espèces étudiées et des deux types d'éclaircies pour des surfaces terrières avant l'éclaircie variant de 25 à 35 m^2/ha. Les différences les plus importantes sont attribuables au nombre de tiges et à la surface terrière avant l'éclaircie. Avec un nombre de tiges avant l'éclaircie supérieur à 2 500 à l'hectare, le volume moyen par tige coupée lors d'une éclaircie sélective par le bas est inférieur à 40 dm^3 quelle que soit l'espèce, même en retardant l'éclaircie jusqu'à une surface terrière de 35 m^2/ha (Figure 21). Par surcroît, plusieurs de ces tiges coupées n'atteignent pas les dimensions commerciales (voir Section 2.1.5).

L'éclaircie systématique procure des volumes moyens supérieurs à ceux obtenus avec l'éclaircie sélective par le bas. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le volume moyen de l'épinette blanche coupée est de 41,5 dm^3 pour une éclaircie sélective d'une intensité de prélèvement de 33,3 % alors qu'il est de 89,3 dm^3 pour une éclaircie systématique (Figure 20).

Les différences entre les espèces sont généralement faibles, particulièrement lors d'éclaircies sélectives de plantations pourvues d'un nombre élevé de tiges avant l'éclaircie. Le volume moyen par tige coupée est légèrement plus faible pour les plantations d'épinette de Norvège et de pin rouge pourvues d'un faible nombre de tiges avant l'éclaircie (Figures 19 à 21).

2.1.5 Relations entre les portions totale et marchande

Dans certaines situations, la surface terrière marchande est utilisée au lieu de la surface terrière totale pour déterminer le moment de réalisation de l'éclaircie ou pour en quantifier la récolte. Dans d'autres cas, seules les tiges marchandes peuvent être retenues pour la coupe. Cette section vise à fournir les outils afin de convertir les résultats en surface terrière marchande et en nombre de tiges marchandes.

La proportion de surface terrière marchande varie selon la surface terrière, le nombre de tiges avant l'éclaircie et, dans le cas de l'éclaircie sélective, l'intensité de l'éclaircie. Les équations de régression suivantes résument ces relations pour l'épinette blanche :

$$PCTGm_c = 100\ (\exp\ (0{,}000017 Nt^{2{,}2148}\ Gt^{-2{,}6321}))^{-1{,}0}$$

pour l'éclaircie systématique [5]
Avec R^2 = 95,9 % et
écart type résiduel = 3,9 %.

$$PCTGm_c = 100\ (\exp\ (6{,}27E\text{-}6\ Nt^{3{,}0917}\ Gt^{-3{,}0395}\ Int^{-1{,}3530}))^{-4{,}0}$$

pour l'éclaircie sélective [6]
Avec R^2 = 96,4 % et
écart type résiduel = 20,6 %.

où $PCTGm_c$ = Taux de surface terrière marchande des arbres coupés (%)

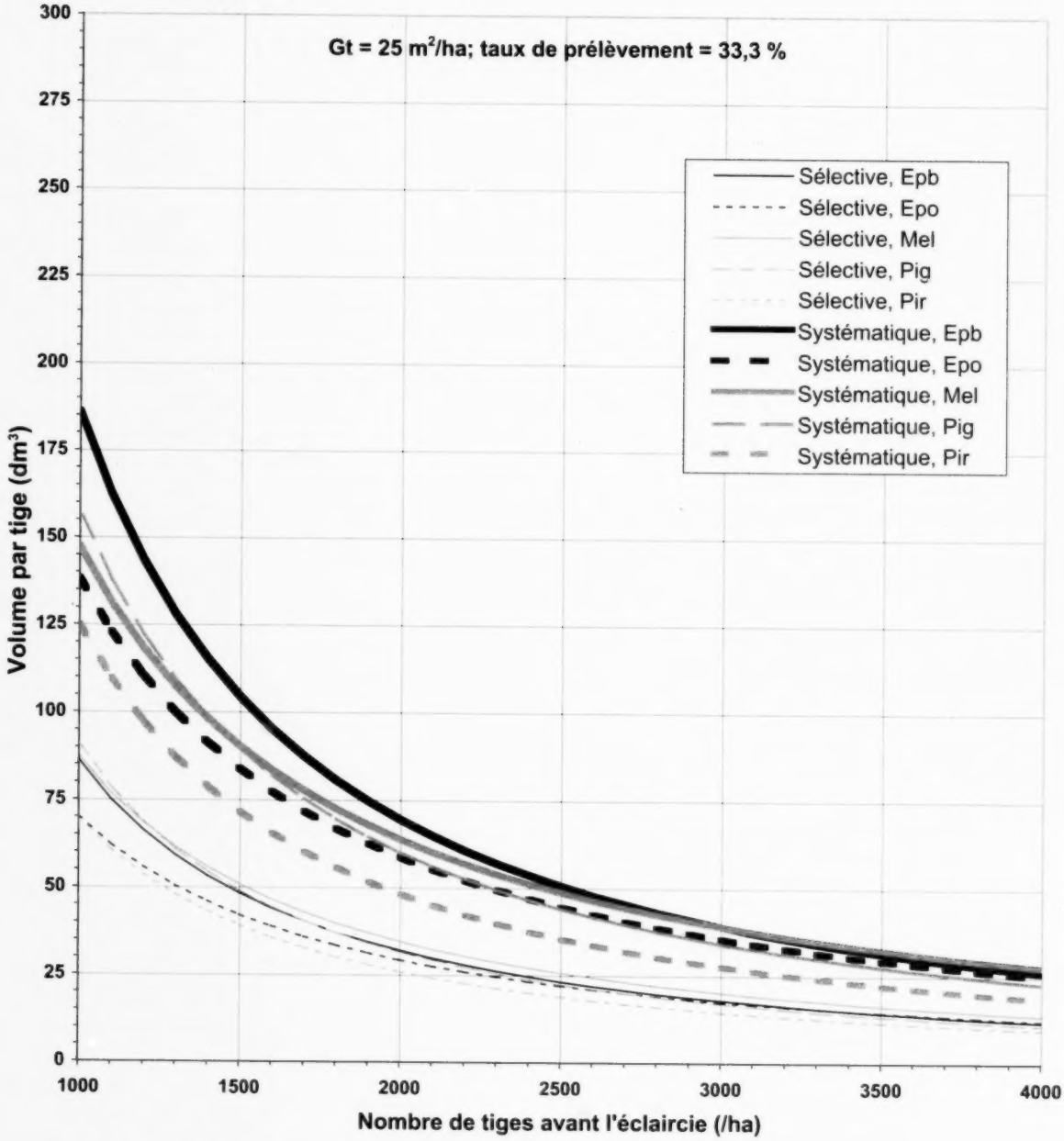
Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)

Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m^2/ha)

Int = Intensité d'éclaircie (% de surface terrière totale enlevée).

Le pourcentage de surface terrière marchande des arbres coupés diminue avec une augmentation du nombre de tiges. Ainsi, pour une surface terrière totale de 25 m^2/ha et 1 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie systématique, 98,4 % de la surface terrière totale est constitué d'arbres de dimensions marchandes, alors que cette valeur chute à 71,3 % lorsque le nombre de tiges augmente à 4 000 à l'hectare (Figure 22). Une surface terrière totale avant l'éclaircie systématique de 25 m^2/ha correspond dans ces deux conditions à des surfaces terrières marchandes de 24,6 et 17,8 m^2/ha, respectivement. Un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière totale en éclaircie systématique dans ces mêmes conditions (8,32 m^2/ha) représentent des surfaces terrières marchandes prélevées de 8,2 et 5,9 m^2/ha, respectivement.

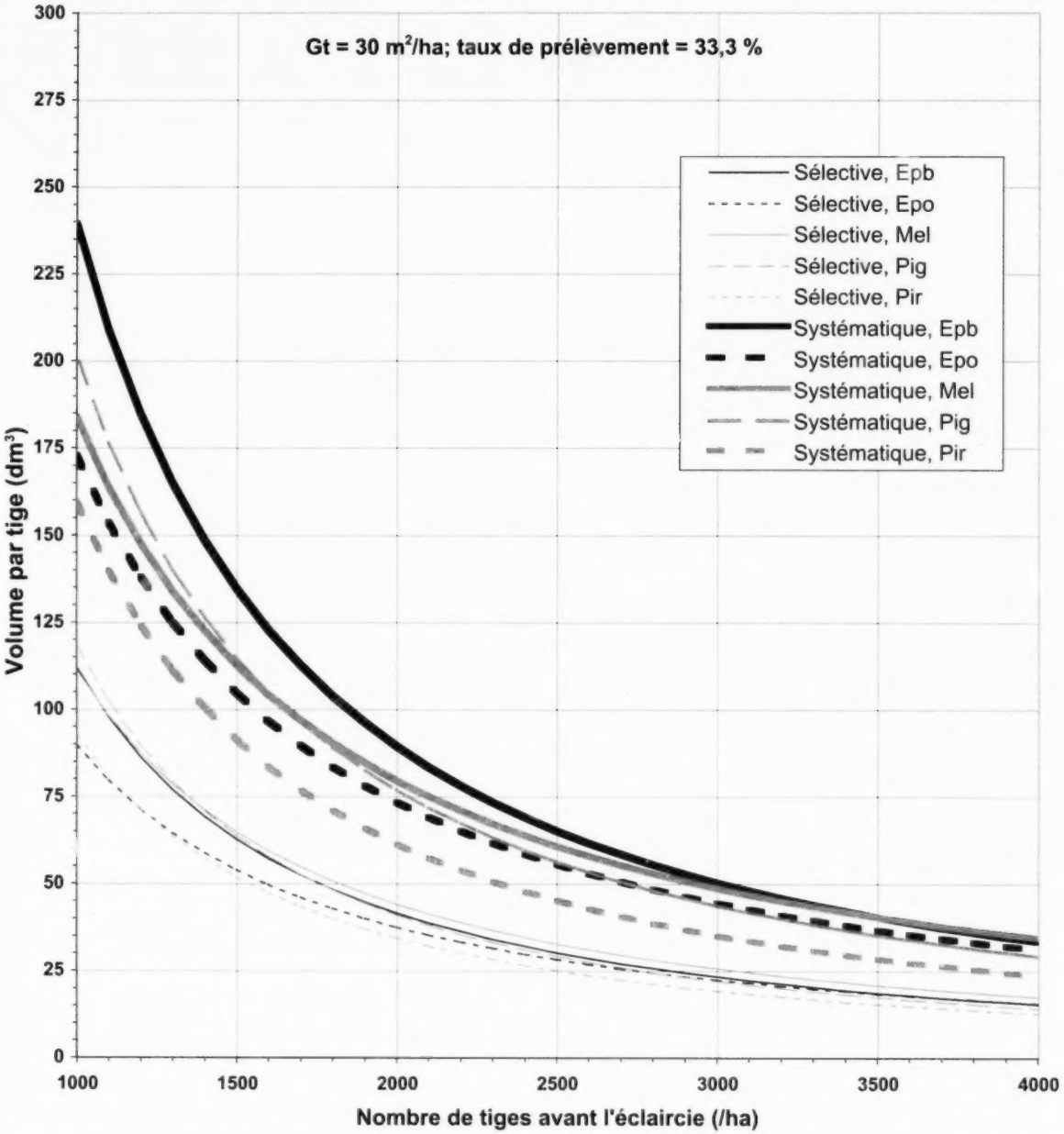
Pour l'éclaircie sélective, le pourcentage de surface terrière marchande prélevée varie également selon l'intensité de prélèvement (Figure 23). Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie sélective par le bas, près de 91,5 % de la surface terrière totale des arbres coupés est constitué d'arbres de dimensions marchandes lorsque le prélèvement est de 40 % alors que cette valeur est de 84,6 % lorsque le prélèvement est de 25 %. Dans ces conditions, les surfaces terrières marchandes prélevées sont de 11,0 et 6,3 m^2/ha, respectivement.



Note : Pour les éclaircies systématiques, le volume moyen par tige coupée est valable pour toutes les intensités de prélèvement

Figure 19

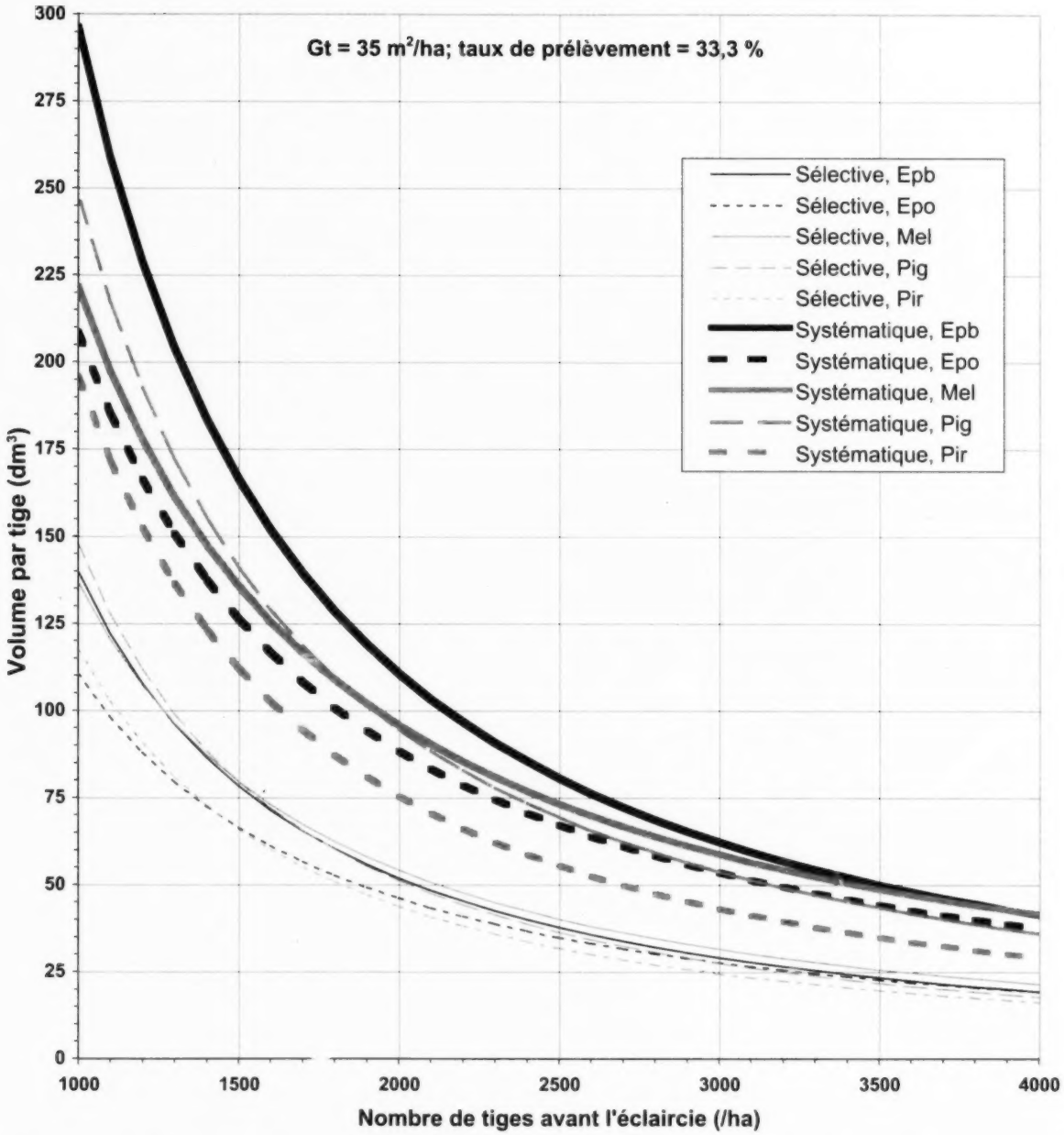
Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 25 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.



Note : Pour les éclaircies systématiques, le volume moyen par tige coupée est valable pour toutes les intensités de prélèvement.

Figure 20

Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 30 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.



Note : Pour les éclaircies systématiques, le volume moyen par tige coupée est valable pour toutes les intensités de prélèvement.

Figure 21

Volume moyen par tige coupée à la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour une surface terrière avant l'éclaircie de 35 m²/ha et un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

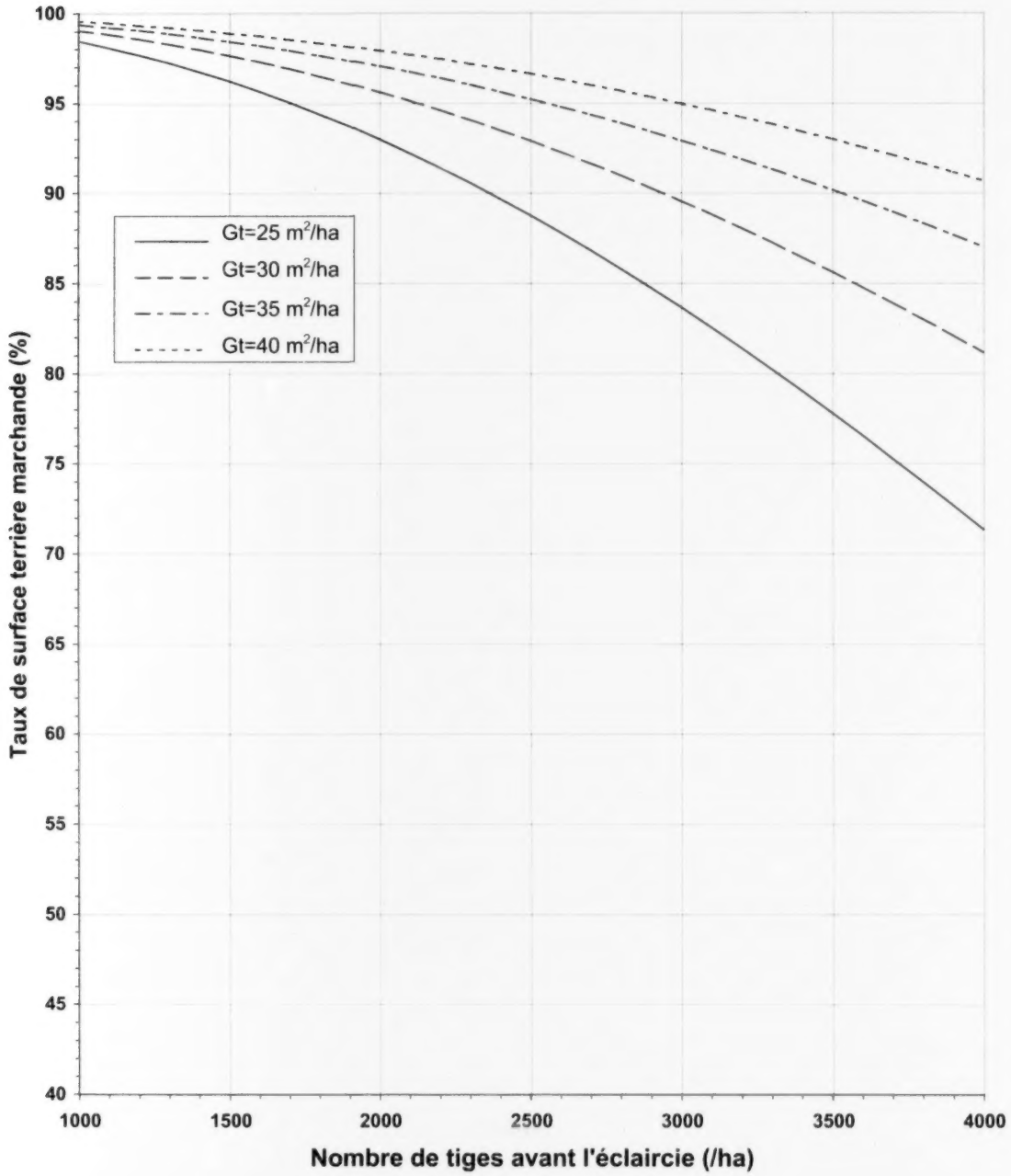


Figure 22

Taux de surface terrière marchande pour l'épinette blanche à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

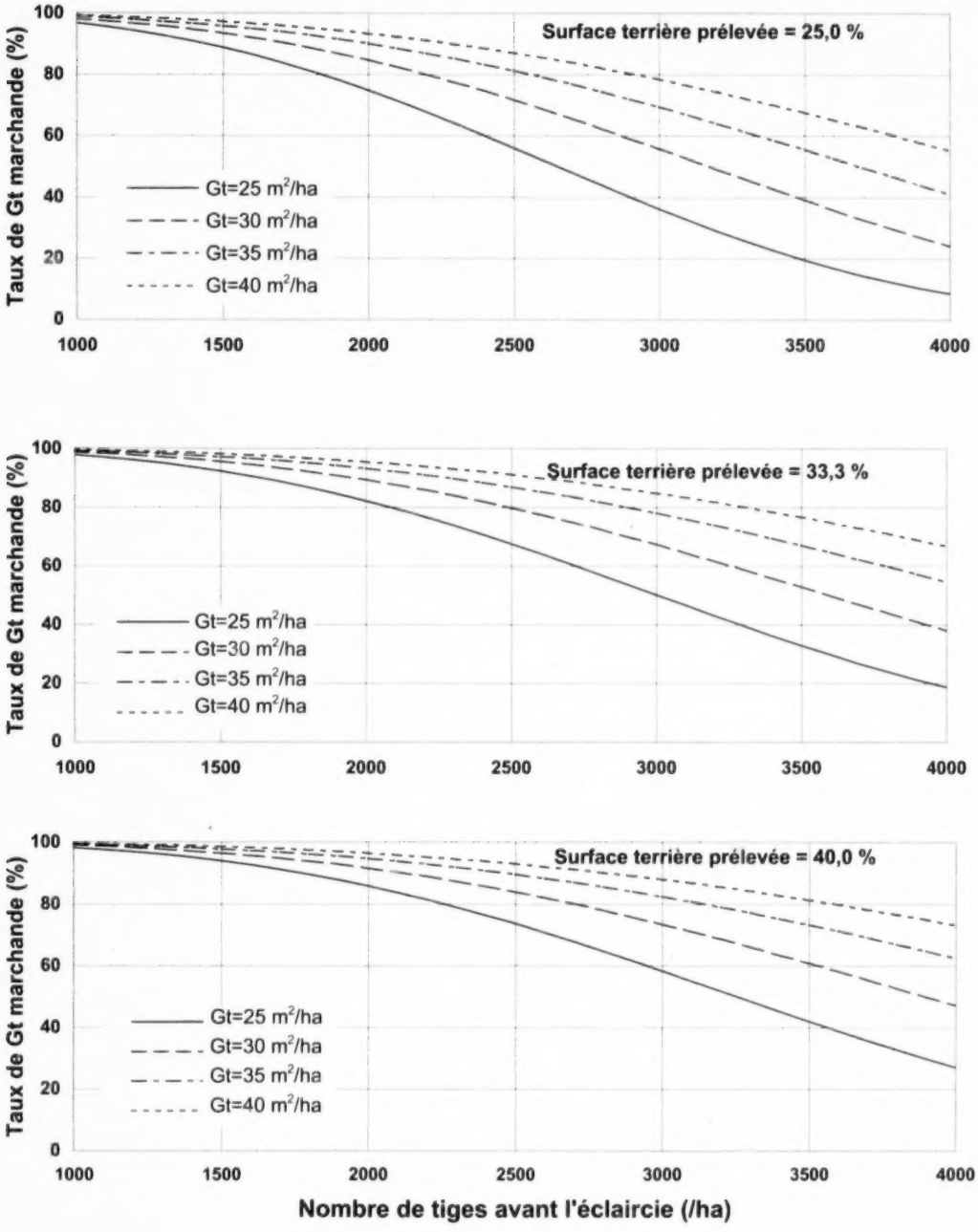


Figure 23

Taux de surface terrière marchande pour l'épinette blanche à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

De même, le pourcentage de tiges marchandes peut être estimé à l'aide des équations de régression suivantes :

$$PCTNm_c = 100\ (\exp\ (0{,}000027 Nt^{1.8816}\ Gt^{-1.9560}))^{-3.0}$$

pour l'éclaircie systématique [7]
Avec R^2 = 92,1 % et
écart type résiduel = 22,1 %.

$$PCTNm_c = 100\ (\exp\ (0{,}000041\ Nt^{2.3947}\ Gt^{-2.2849}\ Int^{-0.8308}))^{-4.0}$$

pour l'éclaircie sélective [8]
Avec R^2 = 93,5 % et
écart type résiduel = 42,2 %.

où $PCTNm_c$ = Taux de tiges marchandes des arbres coupés (%)
Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)
Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m^2/ha)
Int = Intensité d'éclaircie (% de surface terrière totale enlevée).

Ces relations sont décrites par les figures 24 et 25. La chute de la proportion de tiges marchandes en fonction du nombre de tiges est encore plus accentuée que pour la surface terrière. Le nombre de tiges marchandes peut être déduit à partir de ces formules de la même façon que celle présentée précédemment pour les surfaces terrières marchandes. Enfin, les volumes marchands peuvent être calculés à partir des résultats présentés à la section 2.1.4.

2.2 Caractéristiques du peuplement résiduel

2.2.1 Dhp quadratique moyen

Le dhp des arbres coupés et des arbres résiduels à la suite d'une éclaircie systématique sont théoriquement identiques. En conséquence, la figure 1 peut être utilisée pour estimer le dhp moyen du peuplement résiduel pour ce type d'éclaircie. La relation entre le dhp des arbres résiduels, le nombre de tiges et la surface terrière avant l'éclaircie est la même que celle du dhp des arbres coupés (Section 2.1.1).

Pour l'éclaircie sélective par le bas, l'équation de régression suivante permet d'estimer le dhp moyen du peuplement résiduel :

$$DHP_r = \beta_0\ Nt^{\beta_1}\ Gt^{\beta_2}\ Int^{\beta_3} \quad [9]$$

où DHP_r = Diamètre quadratique moyen des arbres résiduels (cm)
Nt = Nombre de tiges avant l'éclaircie (/ha)
Gt = Surface terrière totale avant l'éclaircie (m^2/ha)
Int = Intensité d'éclaircie (% de surface terrière totale enlevée).

Les coefficients de régressions varient selon les espèces et ils sont présentés au tableau 5. La figure 26 illustre les résultats obtenus avec l'épinette blanche. Tout comme pour l'éclaircie systématique, le nombre de tiges avant l'éclaircie influence en grande partie le dhp des arbres

Tableau 5

Coefficients de régression et caractéristiques des équations de régression pour l'estimation du dhp quadratique moyen des arbres résiduels à la première éclaircie sélective par le bas

Espèce	b_0	b_1	b_2	b_3	CME (cm)	R^2 (%)
Épinette blanche	78,6839	-0,4482	0,4366	0,1120	0,506	95,0
Épinette de Norvège	121,0000	-0,4903	0,4065	0,1129	0,849	94,0
Mélèze laricin	89,4753	-0,4533	0,4248	0,0901	0,367	96,8
Pin gris	76,7090	-0,4518	0,4586	0,0880	0,259	96,8
Pin rouge	106,6000	-0,4590	0,3926	0,0778	0,827	92,1

* Modèle de régression : $DHP_r = \beta_0\ Nt^{\beta_1}\ Gt^{\beta_2}\ Int^{\beta_3}$

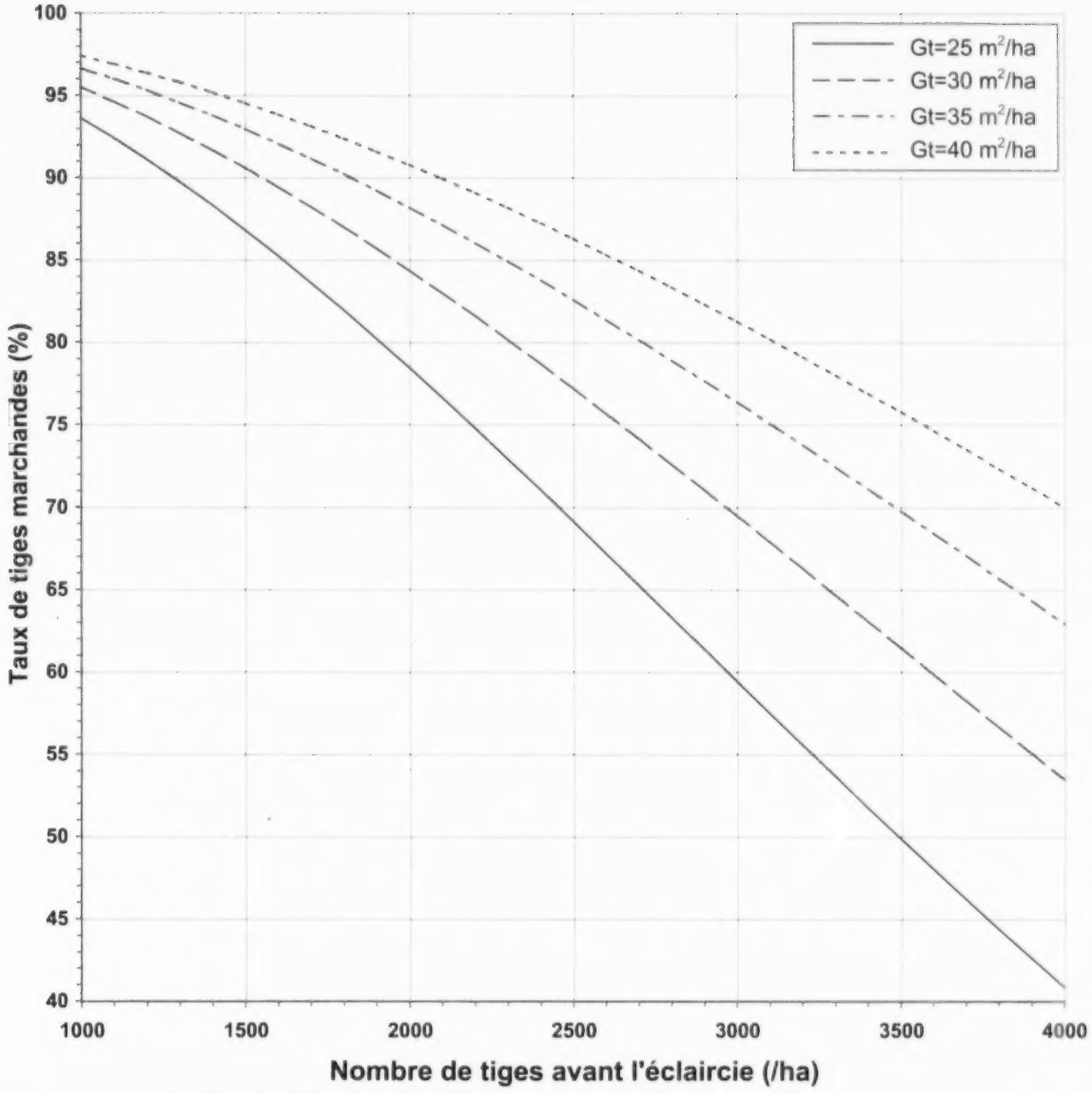


Figure 24

Taux de tiges marchandes pour l'épinette blanche à la première éclaircie systématique en fonction de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

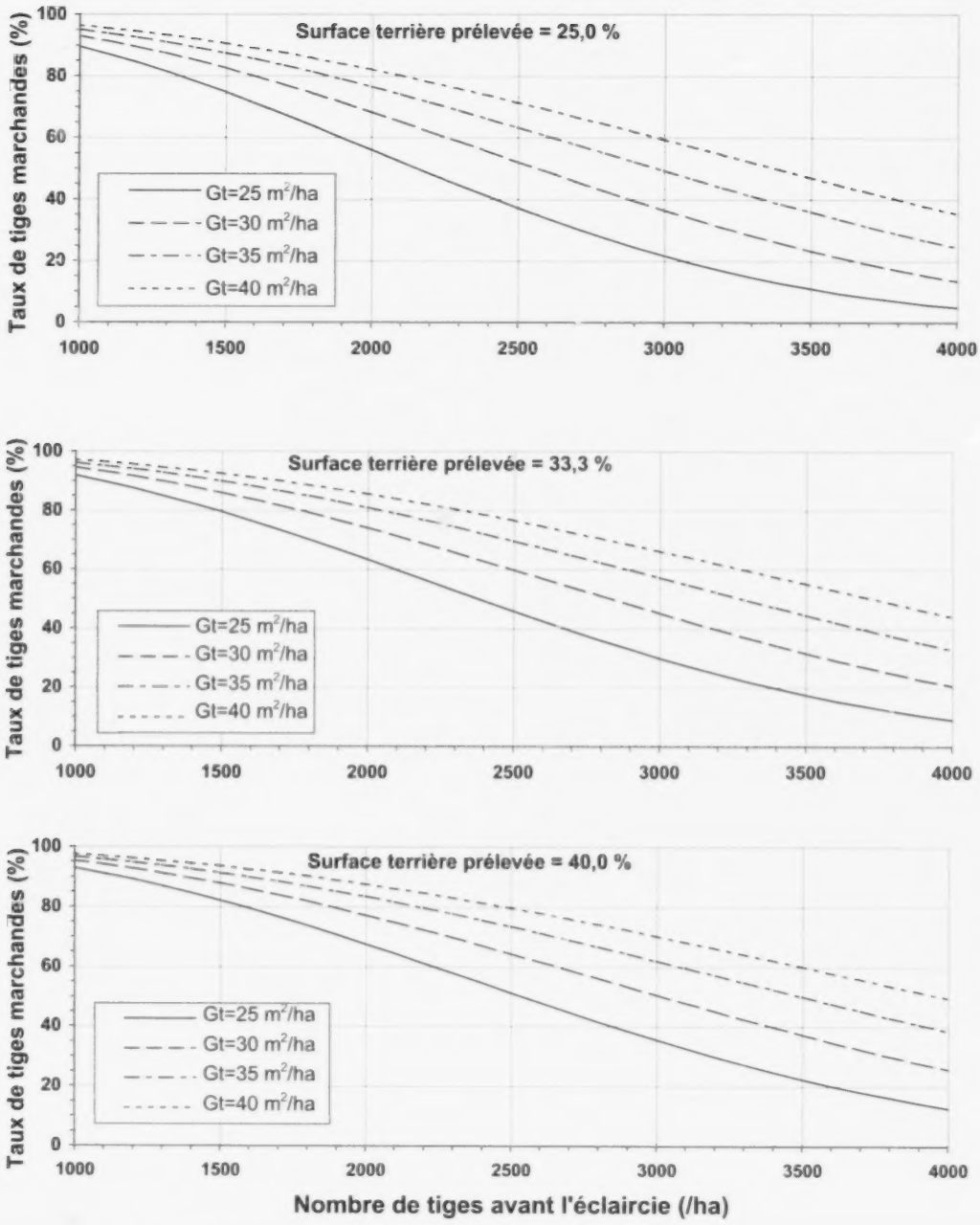


Figure 25

Taux de tiges marchandes pour l'épinette blanche à la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'hectare.

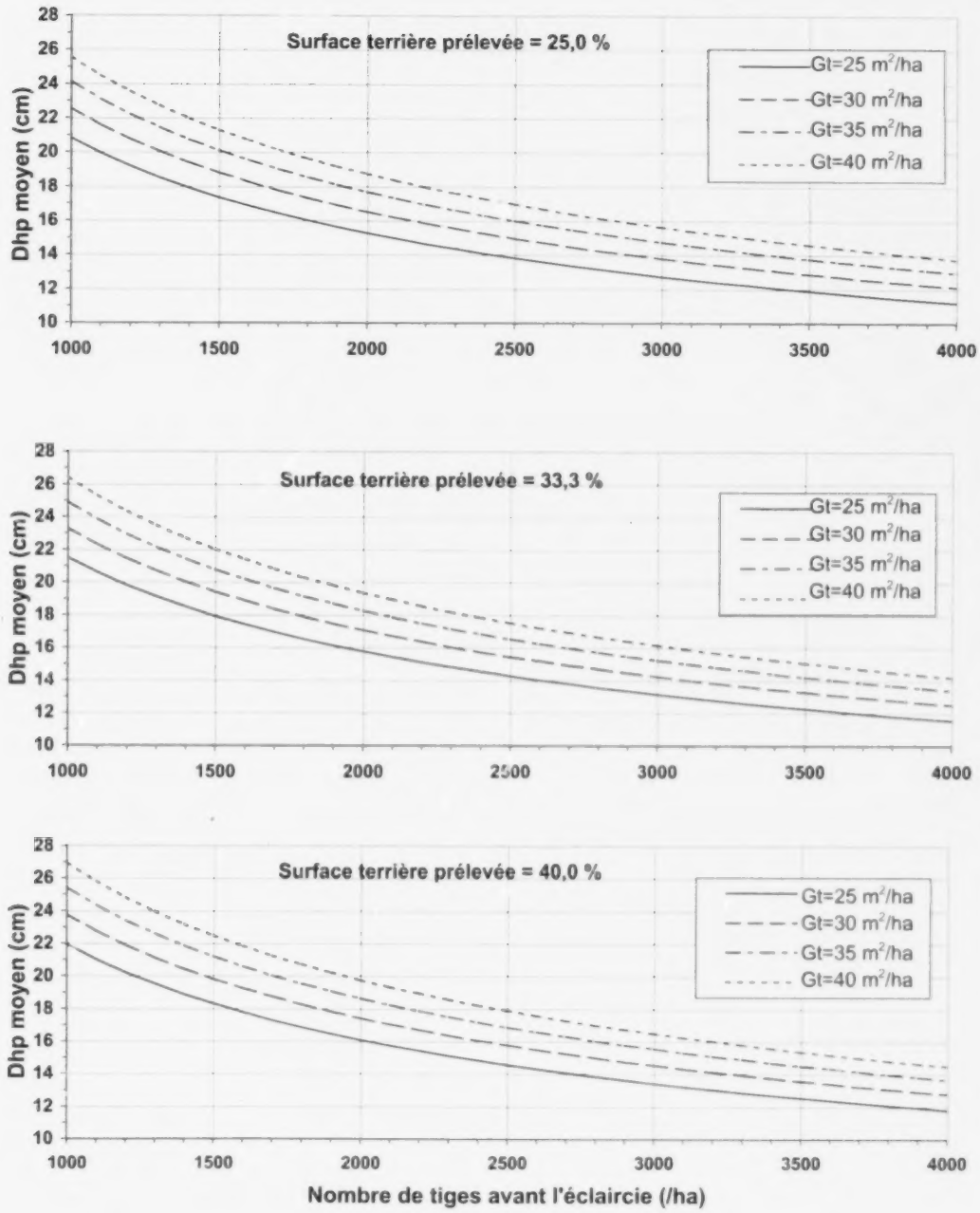


Figure 26

Dhp quadratique moyen des tiges résiduelles d'épinette blanche après la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

résiduels. Pour une surface terrière totale de 25 m^2/ha avant l'éclaircie et un prélèvement de 33,3 %, le dhp est de 21,5 cm lorsque le nombre de tiges est de 1 000 à l'hectare avant l'éclaircie alors que cette valeur baisse à 11,5 cm pour 4 000 tiges à l'hectare, soit une diminution de près de 47 %.

Contrairement à l'éclaircie systématique, le dhp moyen des tiges résiduelles d'épinettes blanches à la suite d'une éclaircie sélective par le bas dépend de l'intensité de celle-ci. Plus cette dernière est intense, plus le dhp des tiges résiduelles est élevé. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le dhp des arbres résiduels est de 16,5 cm pour une intensité d'éclaircie de 25 % alors qu'il est de 17,4 cm à une intensité de 40 % (Figure 26), soit un écart sensiblement égal à celui observé pour le dhp moyen des tiges coupées. Néanmoins, l'effet de l'intensité de l'éclaircie est beaucoup plus faible que celui du nombre de tiges avant l'éclaircie.

La figure 27 permet de comparer le dhp des arbres résiduels en fonction des diverses espèces étudiées tout en présentant les différences entre les deux types d'éclaircies. Contrairement au dhp des arbres coupés, le dhp moyen des arbres résiduels est généralement supérieur pour les épinettes alors qu'il est inférieur pour les deux espèces de pin. Le mélèze laricin donne des résultats intermédiaires à ces deux groupes. Néanmoins, les écarts de dhp entre les essences sont généralement faibles.

Le dhp moyen du peuplement résiduel lors d'une éclaircie systématique est plus faible qu'à la suite d'une éclaircie sélective par le bas. Pour une surface terrière de 30 m^2/ha et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le dhp moyen des tiges résiduelles d'épinette blanche est de 17,1 cm pour une éclaircie sélective et une intensité de prélèvement de 33,3 % alors qu'il est de 13,8 cm pour une éclaircie systématique (Figure 27). Contrairement à l'éclaircie sélective, l'éclaircie systématique permet de récolter de plus gros arbres (Section 2.1.1) mais le dhp moyen des arbres résiduels demeure le même.

2.2.2 Gain technique du dhp

Le dhp moyen des arbres avant l'éclaircie et celui des arbres résiduels à la suite d'une éclaircie systématique sont théoriquement identiques. Pour l'éclaircie sélective par le bas, ces valeurs sont différentes de sorte qu'immédiatement après l'éclaircie, il y a un gain dû au fait qu'on a enlevé les petites tiges pour calculer la nouvelle moyenne de dhp ; il s'agit du gain technique et non pas du gain à venir au cours des prochaines années lequel résultera du plus grand espacement entre les tiges. Il est calculé en soustrayant le dhp moyen des arbres avant l'éclaircie de celui des arbres résiduels immédiatement après l'éclaircie.

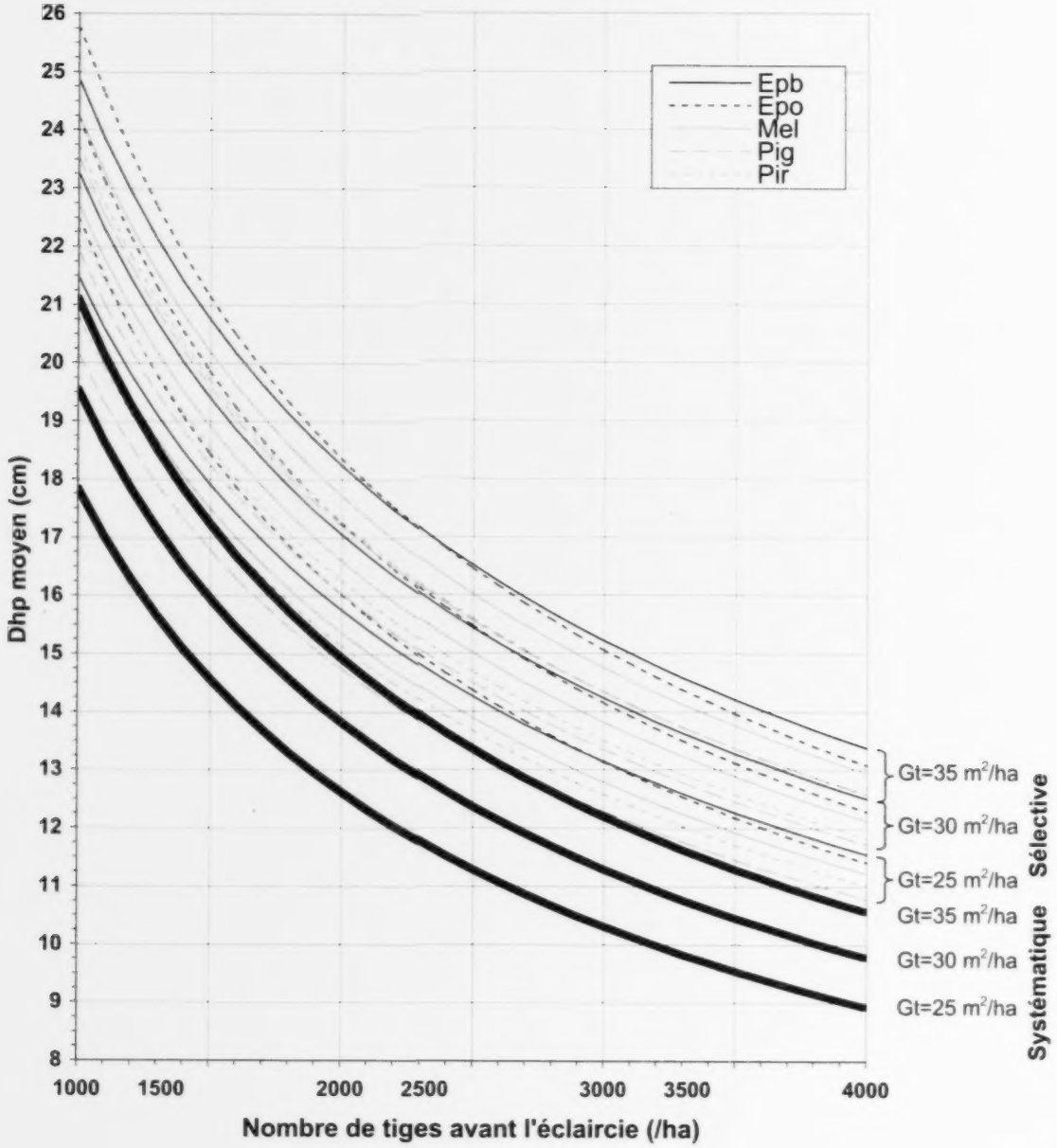
Le gain technique en valeurs absolues pour l'épinette blanche est présenté à la figure 28. Le gain est plus important pour les fortes intensités de prélèvement, une surface terrière avant l'éclaircie plus élevée et un faible nombre de tiges avant l'éclaircie. Compte tenu que ces valeurs s'appliquent à des arbres de dimensions différentes, les gains exprimés en pourcentage se comportent différemment selon les paramètres énoncés précédemment (Figure 29). Contrairement aux gains en valeur absolue, les gains en pourcentage sont plus élevés pour un nombre élevé de tiges et pour une surface terrière plus faible. Toutefois, les gains en pourcentage demeurent supérieurs dans le cas des fortes intensités de prélèvement. Pour l'épinette blanche, ces gains varient de 2,3 à 4,4 cm (Figure 28) soit d'environ 13 à 32 % (Figure 29) selon les valeurs des différents paramètres analysés.

Pour bien évaluer les effets de l'éclaircie, il faut éliminer ce gain technique qui résulte non pas d'un espacement accru entre les tiges mais bien de la suppression des petites tiges dans le calcul de la moyenne. D'ailleurs, la surface terrière la plus élevée procure un gain technique en valeur absolue supérieur à celui des faibles surfaces terrières ; à l'inverse toutefois, les gains à venir liés au nouvel espacement entre les tiges devraient être supérieurs pour les faibles surfaces terrières.

Les pourcentages de gains en dhp varient également selon les espèces. La figure 30 présente ces différences pour différents niveaux de surfaces terrières avant l'éclaircie pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière totale. Les pourcentages de gains les plus faibles sont obtenus pour les pins avec des surfaces terrières plus élevés ; les épinettes ont les taux de gains techniques les plus élevés.

2.2.3 Nombre de tiges

Pour une éclaircie systématique, le nombre de tiges résiduelles est directement proportionnel au nombre de tiges avant l'éclaircie et au taux de prélèvement. Il est uniforme quelle que soit l'espèce ou la surface terrière avant l'éclaircie (Figure 31).



Note : Les résultats pour les éclaircies systématiques (en traits plus épais) sont valables pour toutes les essences et les intensités d'éclaircie; ceux des éclaircies sélectives (en traits plus minces) varient selon les essences et sont valables seulement pour un prélèvement de 33.3 % de la surface terrière.

Figure 27

Dhp quadratique moyen des tiges résiduelles après la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

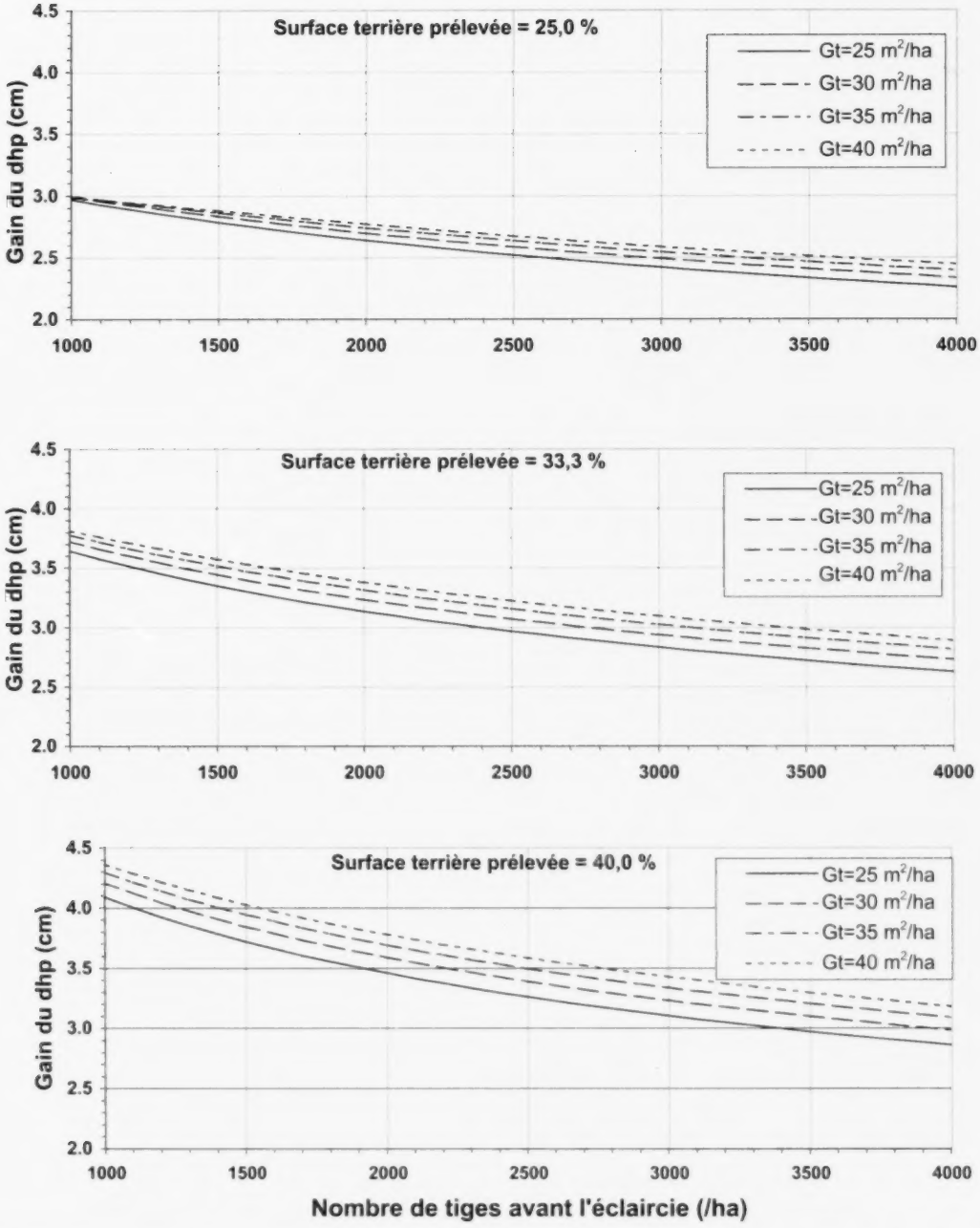


Figure 28

Gain technique du dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

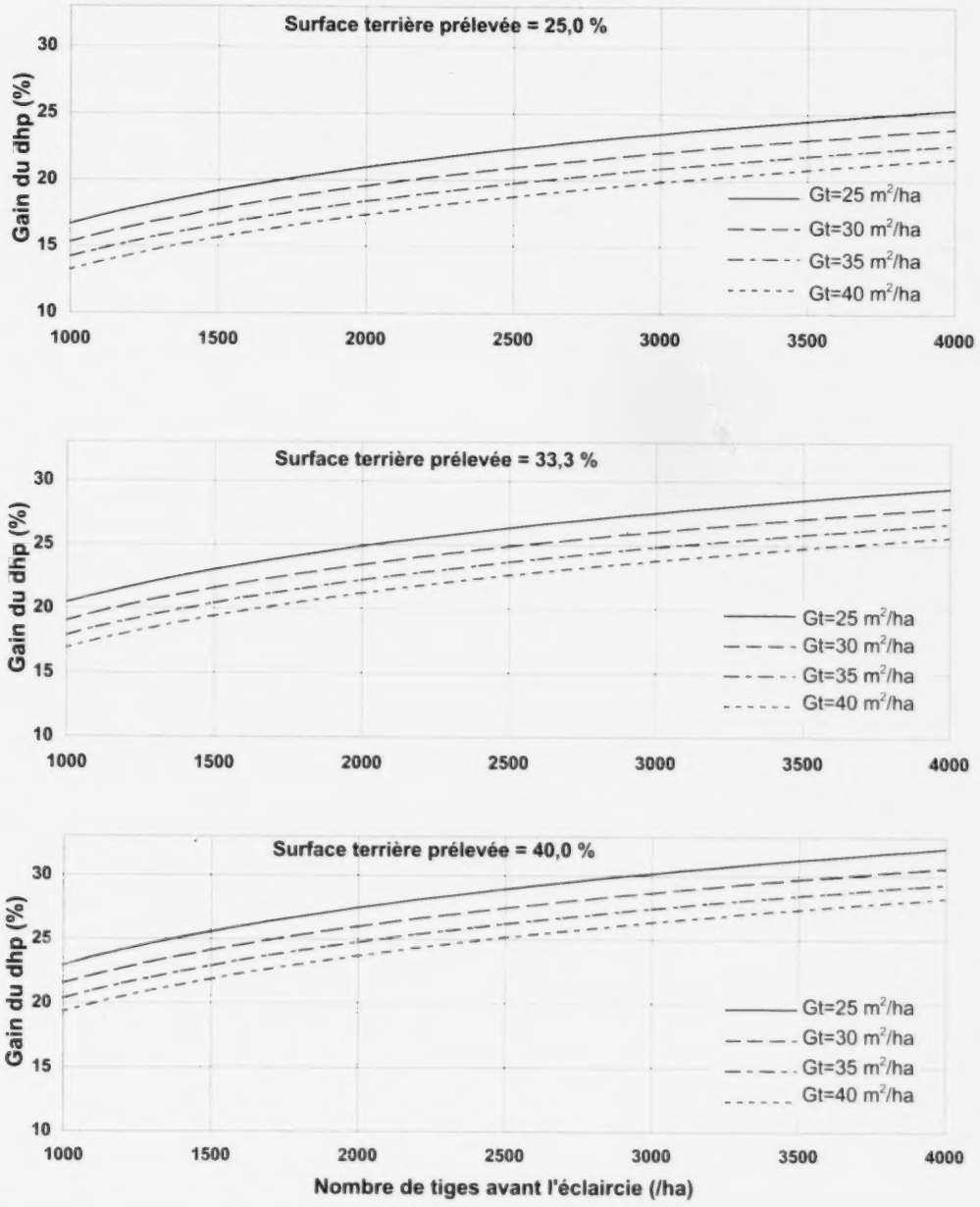


Figure 29

Pourcentage de gain technique du dhp pour l'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

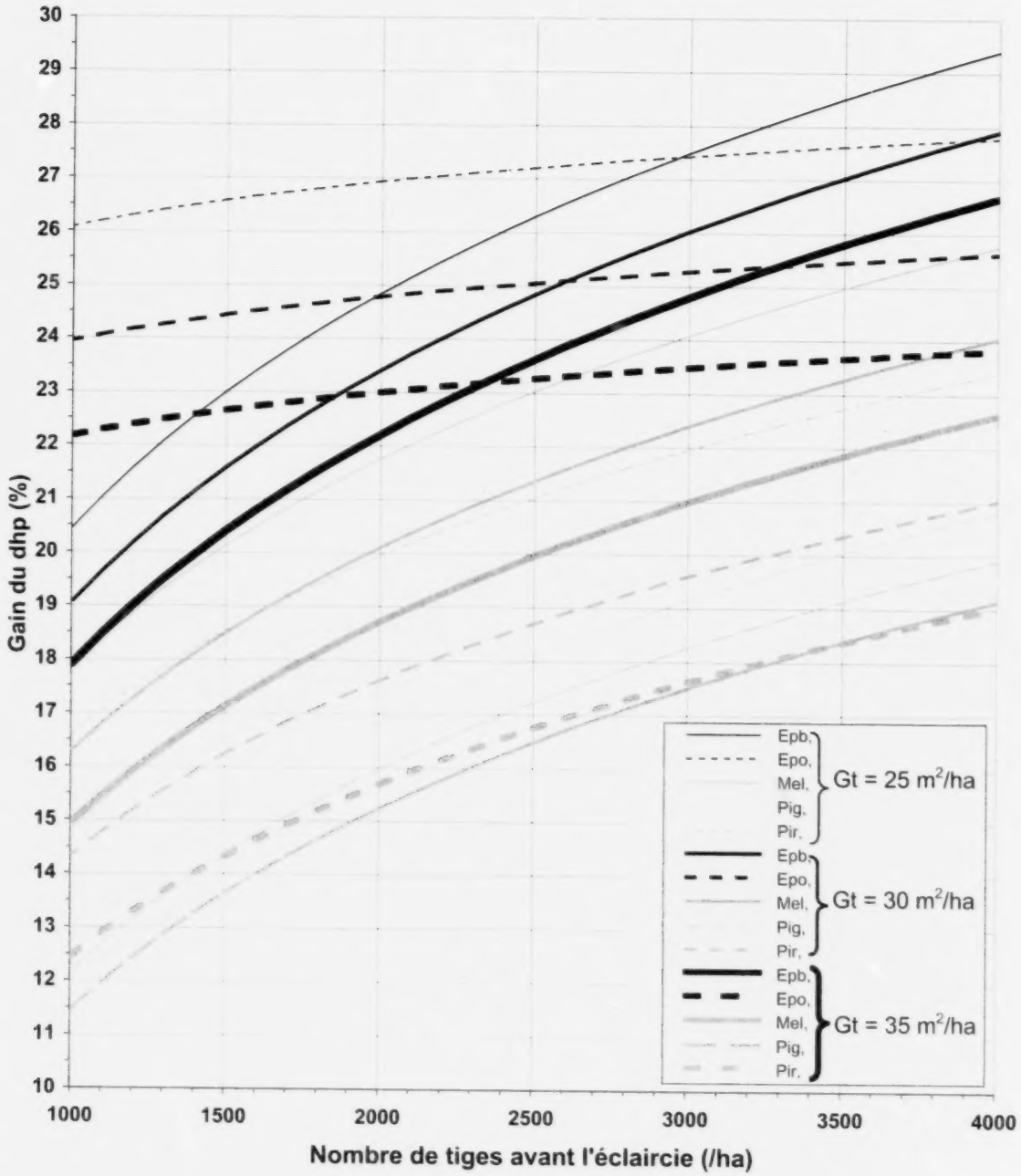


Figure 30

Pourcentage de gain technique du dhp à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de l'essence, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière.

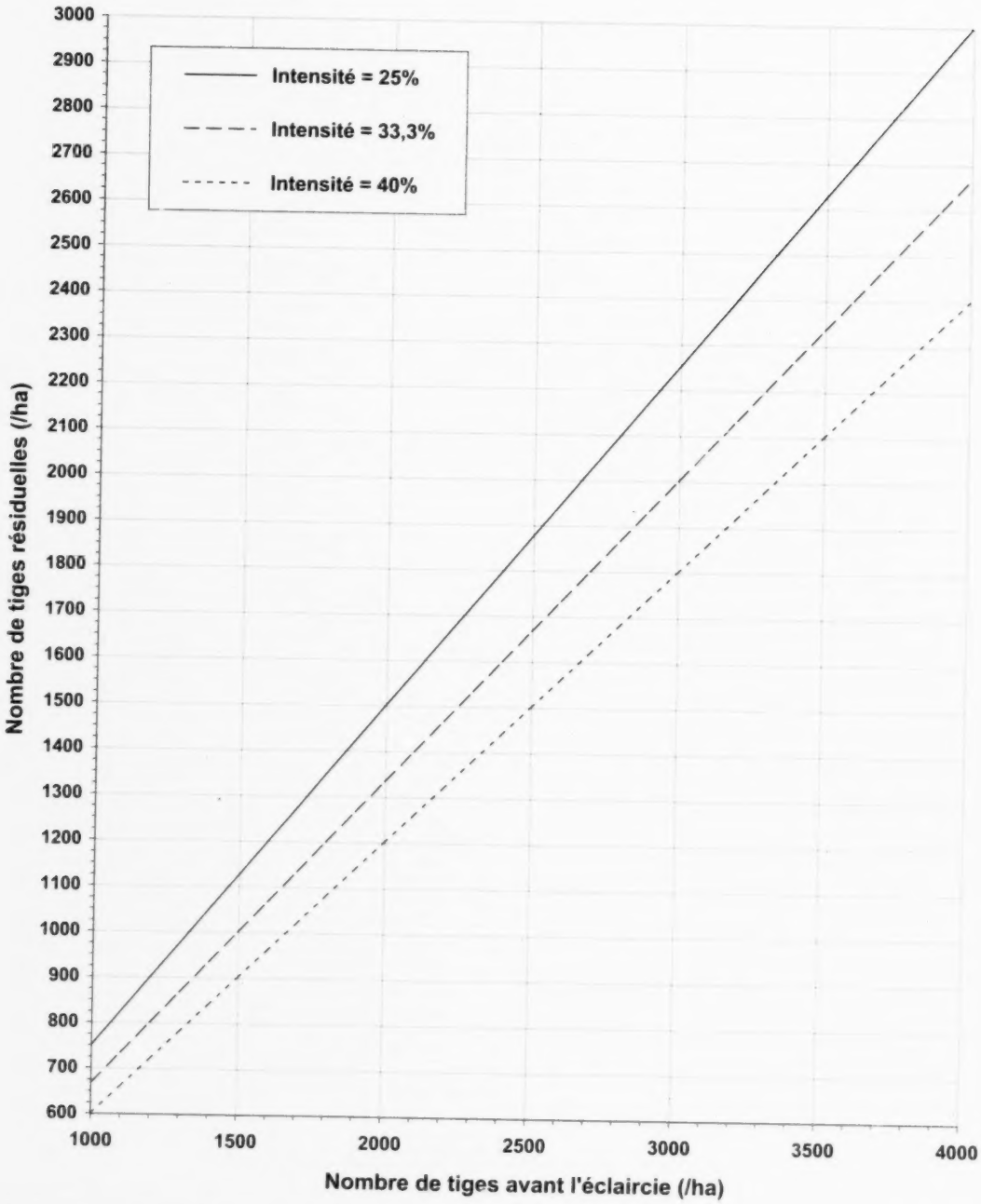


Figure 31

Nombre de tiges résiduelles à la suite de la première éclaircie systématique en fonction de l'intensité de l'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

La figure 32 présente le nombre de tiges résiduelles à la suite d'une éclaircie sélective par le bas pour une plantation d'épinette blanche. Le nombre varie principalement selon le nombre de tiges initial et le taux de prélèvement. La surface terrière initiale influence peu le nombre de tiges résiduelles. En conséquence, un retard d'éclaircie, c'est-à-dire l'attente d'une surface terrière plus élevée, fait en sorte que le nombre de tiges est toujours trop élevé pour les coupes subséquentes. Les pertes de croissance en dhp se répercuteront lors des coupes subséquentes.

Les différences du nombre de tiges résiduelles entre les espèces sont également faibles pour un taux de prélèvement et une surface terrière initiale identiques (Figure 33). Pour une surface terrière de 30 m^2/ha, un prélèvement de 33,3 % et une densité de 2 000 tiges à l'hectare avant l'éclaircie, le nombre de tiges résiduelles à l'hectare est de 1 002 pour le pin gris et de 875 pour l'épinette de Norvège. Avec une éclaircie systématique, ce nombre est de 1 334, quelle que soit l'espèce. Le nombre de tiges résiduelles dépend principalement du type d'éclaircie, du nombre de tiges avant l'éclaircie et du taux de prélèvement.

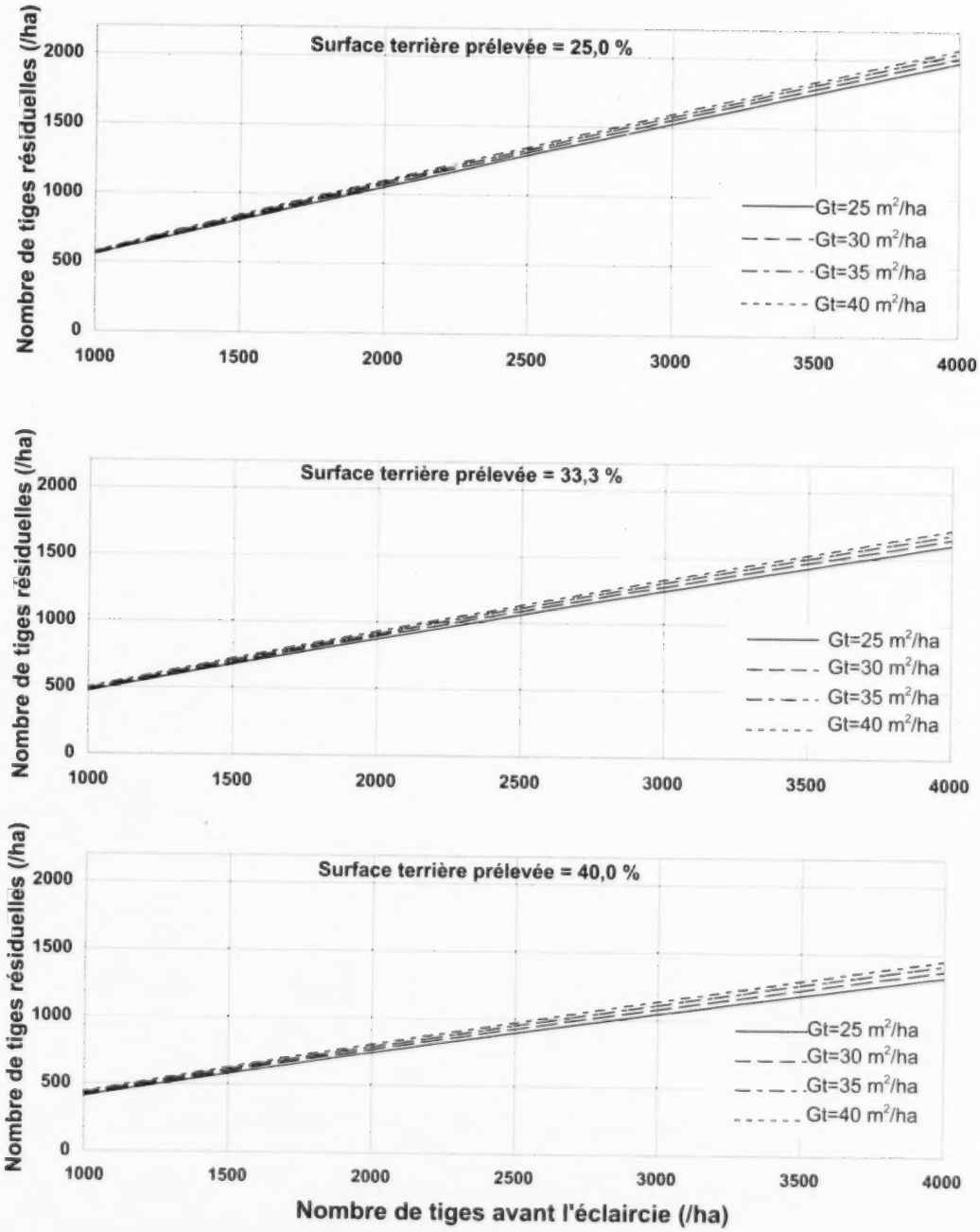
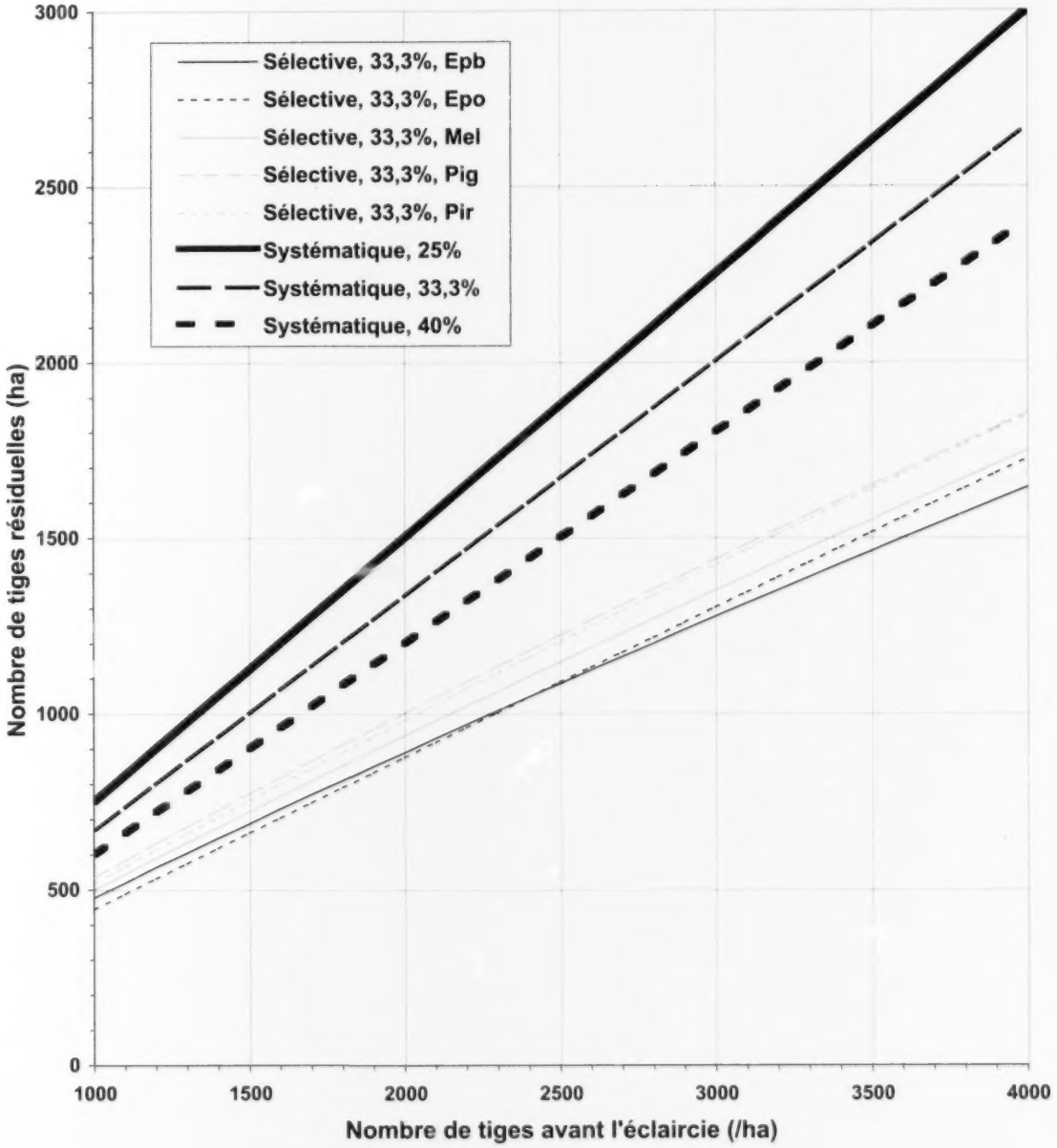


Figure 32

Nombre de tiges résiduelles d'épinette blanche à la suite de la première éclaircie sélective par le bas en fonction de la surface terrière prélevée, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie.



Note : Les résultats pour les éclaircies systématiques (en traits plus épais) sont valables pour toutes les essences et les surfaces terrières avant l'éclaircie; ceux des éclaircies sélectives (en traits plus minces) varient selon les essences et sont valables seulement pour un prélèvement de 33,3 % de la surface terrière et une surface terrière de 30 m^2/ha avant l'éclaircie.

Figure 33

Nombre de tiges résiduelles à la suite de la première éclaircie en fonction de l'essence, du type d'éclaircie, de l'intensité de l'éclaircie et du nombre de tiges avant l'éclaircie.

Chapitre trois

Discussion

Le dhp et le volume moyens des tiges coupées à la première éclaircie varient peu selon l'essence ou l'intensité d'éclaircie ; ils sont d'ailleurs indépendants de l'intensité dans le cas de l'éclaircie systématique. Ils dépendent surtout du type d'éclaircie, de la surface terrière et du nombre de tiges avant l'éclaircie. Plusieurs ont privilégié les deux premiers facteurs dans le passé afin de favoriser la grosseur et le volume des tiges récoltées. Ainsi, on a souvent eu recours aux éclaircies systématiques tout en attendant l'obtention d'une surface terrière élevée, c'est-à-dire en retardant la réalisation de celles-ci. Cette approche est le plus souvent à déconseiller. Si l'éclaircie systématique procure quelques avantages, elle ne permet pas d'améliorer la qualité du peuplement, ni d'attribuer la croissance ultérieure aux plus belles tiges de la plantation (Bastien 1986, Prégent 1998a). De plus, le retard d'éclaircie aura des répercussions négatives sur la grosseur des tiges récoltées lors de toutes les coupes subséquentes (Prégent 1998a). La meilleure option sylvicole pour augmenter les dimensions des arbres récoltés à la première éclaircie commerciale est de réduire le nombre de tiges, soit par une diminution de la densité de reboisement ou soit par une éclaircie précommerciale (Reukema 1975).

Un des principaux objectifs de l'éclaircie sélective est d'attribuer le potentiel de croissance de la station aux plus belles tiges, soit celles qui auront une grande valeur en bois de sciage, de déroulage ou de poteaux. Il faut donc prélever dès la première éclaircie les tiges les plus déformées ou blessées. Quelques-unes de ces tiges peuvent se situer dans les étages dominant ou codominant et il est encore plus important de les couper tôt dans la vie du peuplement afin de ne pas entraver plus longtemps la croissance de plus belles tiges. Un retard d'éclaircie est encore plus négatif dans ces circonstances. En second lieu, la coupe devrait viser à éliminer les plus petites tiges soit celles susceptibles de ne réagir que faiblement à une éclaircie (Jover 1978, Riou-Nivert 1983). De plus, on doit parfois pratiquer une éclaircie mixte (portion systématique combinée à une portion sélective entre les sentiers) afin de faciliter le débardage des bois. Ainsi, l'éclaircie peut difficilement être réalisée entièrement par le bas et les résultats pourront atteindre un niveau intermédiaire à celui des deux types d'éclaircie présentés dans les différents graphiques.

La qualité de la station détermine en grande partie le moment pour réaliser l'éclaircie de même que la croissance subséquente (Prégent 1998a). Bien que ce paramètre ne fasse pas partie directement de la présente étude, les résultats obtenus sont valables pour toutes les qualités de station observées au Québec. La surface terrière permet d'intégrer les diverses valeurs de qualité de station (Duyck 1984) et les seuils de surface terrière sont atteints plus rapidement avec les meilleures stations.

La simulation de l'éclaircie sélective de cette étude repose sur l'hypothèse d'une répartition homogène du dhp des tiges à l'intérieur de la parcelle. Or, cette répartition ne peut être toujours parfaite de sorte qu'il puisse arriver que dans un secteur bien pourvu en grosses tiges, on doive en sacrifier quelques-unes, alors que dans un autre secteur où la situation serait à l'opposé, on devra en conserver quelques petites.

Les caractéristiques du bois coupé à la première éclaircie et celles du peuplement résiduel dépendent en partie de l'espèce. Ainsi, les différences entre les pins et les épinettes sont souvent marquées ; le mélèze se situe le plus souvent entre ces deux groupes et les différences les plus fortes sont généralement entre le pin rouge et l'épinette blanche. Ainsi, pour une même intensité de prélèvement et une même surface terrière avant l'éclaircie, le volume, le nombre de tiges récoltées et le pourcentage de gain technique en diamètre sont supérieurs pour l'épinette blanche. Toutefois, il ne faut pas se baser sur ces résultats afin de sélectionner les espèces pour le reboisement. Par exemple, le volume de bois récolté à la première éclaircie est plus faible pour le pin rouge alors qu'il s'agit pourtant du conifère indigène le plus productif en plantation au Québec. D'ailleurs, la production totale de même que les gains en diamètre et en volume qui surviendront au cours des années suivant l'éclaircie devraient généralement être supérieurs pour le

pin rouge. Les différences entre les espèces pourraient être causées par un étagement plus accentué et une plus grande variabilité de dimensions dans les plantations d'épinette blanche par rapport à celles de pin rouge. Nous posons l'hypothèse que les essences de lumière ont une croissance plus homogène que les autres essences, d'où les caractéristiques d'éclaircie différentes. Le coefficient de variation moyen du dhp à l'intérieur d'une parcelle est de 29,5 % pour l'épinette blanche et 24,6 % pour le pin rouge. Les plantations de pin rouge étant généralement plus homogènes, il y est plus difficile d'obtenir un gain technique important du diamètre ; de même, les petites tiges étant en proportion plus faible, il faut y prélever moins de tiges pour atteindre une surface terrière résiduelle donnée. Pour ces raisons, le nombre de tiges résiduelles et le dhp moyen des arbres coupés sont plus élevés pour le pin rouge et plus faibles pour l'épinette blanche.

À partir des différences observées entre les espèces, un parallèle peut être établi dans la comparaison des éclaircies entre les forêts naturelles, les vieilles plantations et celles qui proviendront de semences améliorées génétiquement ou de plants reproduits de façon végétative. Les différences observées entre les espèces dans cette étude pourraient être un aperçu de celles que nous pourrions observer entre ces types de peuplement compte tenu de leur degré d'homogénéité différent. Dans cette étude, le coefficient de variation moyen du dhp à l'intérieur d'une parcelle est de 30,8 % pour l'épinette de Norvège. À l'intérieur d'un dispositif de test de provenances améliorées de cette même espèce, on a pu observer des coefficients de variation beaucoup plus faibles, soit de 22,3 % en moyenne (variant de 20,3 à 25,4 % selon les provenances) (Prégent 1998b). Par ailleurs, les taux de survie y étaient grandement supérieurs à ce qui était estimé dans les tables de rendement ; ce qui laisse supposer un processus d'autoéclaircie différent entre ces types de peuplement. De même, la préparation de terrain, le dégagement des plantations et la fertilisation peuvent influencer la variation de la croissance (Nilsson et Allen 2003) et par le fait même les caractéristiques de l'éclaircie.

Le gain en dhp présenté aux figures 28 à 30 ne concerne que le gain technique lié à l'enlèvement des petites tiges dans le calcul de la moyenne, ce que certains appellent l'effet « scie mécanique » obtenu immédiatement après la coupe sélective par le bas. Il ne reflète pas le gain ultérieur en diamètre lié à l'augmentation de l'espace disponible pour les tiges résiduelles. Il faut d'ailleurs soustraire ce gain technique pour bien évaluer les effets véritables de l'éclaircie sélective. Le retard de l'éclaircie sélective permet d'accroître le gain technique en valeur absolue (Figure 28). Dans ces circonstances, ce gain technique est illusoire car le gain ultérieur lié à l'éclaircie devrait être inférieur et il devrait en être ainsi à toutes les éclaircies subséquentes (Prégent 1998a). Le gain ultérieur en diamètre variera principalement selon l'espèce, la qualité de station, la surface terrière au moment de l'éclaircie et l'intensité de celle-ci. Les gains ultérieurs les plus forts devraient être observés pour les essences et les stations les plus productives avec des éclaircies hâtives, fréquentes et de bonne intensité (Prégent 1998a).

Pour un même nombre de tiges avant l'éclaircie, le nombre de tiges coupées en éclaircie sélective dépend très peu de la surface terrière avant l'éclaircie (Figure 15) alors qu'il est entièrement indépendant en éclaircie systématique. En conséquence, un nombre trop élevé de tiges lors de la première éclaircie ne peut se corriger à ce moment qu'en augmentant l'intensité de l'éclaircie. Or, une éclaircie de forte intensité n'est possible que si elle est réalisée hâtivement (Riou-Nivert 1986). Une forte intensité d'éclaircie dans une plantation en retard d'éclaircie se traduit par des risques de chablis et des pertes de production en volume. Par surcroît, les retards de croissance en diamètre et en volume moyen des tiges ne peuvent se rattraper par la suite (Prégent 1998a). Ces pertes de croissance liées au nombre élevé de tiges se situent alors à deux niveaux, les pertes du passé et celles de l'avenir.

Conclusion

À partir des données de 617 inventaires de plantation, nous avons simulé des éclaircies sélectives par le bas et des éclaircies systématiques pour des prélèvements de surface terrière totale de 25,0, 33,3 et 40,0 %. Des modèles de régression permettent d'estimer le dhp, le volume total et le volume marchand des arbres coupés de même que le dhp moyen du peuplement résiduel en fonction de l'espèce, du nombre de tiges et de la surface terrière totale avant l'éclaircie de même que l'intensité et le type de l'éclaircie. Le nombre de tiges coupées et celui du peuplement résiduel ainsi que le gain technique en dhp en fonction de ces paramètres sont également présentés.

Le dhp moyen et le volume moyen des tiges coupées à la première éclaircie commerciale dépendent fortement du nombre de tiges. Plus ce nombre est élevé, plus il est difficile de rentabiliser la coupe. En dépit des problèmes fréquents de rentabilité, la première éclaircie est déterminante dans la réussite du scénario sylvicole. Il faut veiller à la réaliser au moment opportun tout en faisant une sélection judicieuse des tiges à conserver. L'importance de cette première éclaircie réside beaucoup plus dans ses effets subséquents sur le peuplement que dans la récolte elle-même. D'ailleurs, la rentabilité de cette éclaircie devrait être examinée surtout en prenant en compte ses effets cumulatifs jusqu'à la récolte finale.

Les problèmes de rentabilité de la première éclaircie peuvent être résolus par une baisse du nombre de tiges grâce à une éclaircie précommerciale ou à une baisse de la densité de reboisement. La légère baisse des densités de reboisement survenue au cours de dernières années au Québec devrait présenter des avantages à ce niveau au cours des prochaines années.

Les effets de l'homogénéité de la dimension des tiges sur les caractéristiques et l'importance des éclaircies de même que sur les processus d'autoéclaircie devraient être examinés à l'avenir. De même, l'amélioration génétique des espèces et l'importance accrue de la production de plants en récipients pourraient avoir des impacts qu'il sera important d'étudier.

Références bibliographiques

ANONYME, 2001. *Ressources et Industries Forestières. Portrait Statistique.* Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Direction du développement de l'industrie et des produits forestiers. (Tiré du site internet suivant : www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances)

BASTIEN, Y., 1986. *Plaidoyer pour les éclaircies en ligne dans les plantations d'épicéas denses.* Forêt-Entreprise 37 : 18-23.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec.* Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Service de la recherche. Mémoire n° 79. 392 p.

DAY, M.W. et V.J. RUDOLPH, 1972. *Thinning plantation red pine.* Michigan State University, Agricultural Experiment Station East Lansing, Research Report 151. 12 p.

DUYCK, D., 1984. *Un guide pour éclaircir les résineux : la surface terrière.* Forêt-Entreprise 20 : 12-17.

JOVER, L., 1978. *L'amélioration des peuplements artificiels d'épicéa (*P. abies *Karst.) – Approche sociologique.* Annales de recherches sylvicoles, AFOCEL, Paris, pp. 353-401.

LIECHTY, H.O., D.R. REED et G.D. MROZ, 1988. *An interim economic comparison of thinning treatments in a high site quality red pine plantation.* Northern Journal of Applied Forestry 5 : 211-215.

LUNDGREN, A.L., 1981. *The effect of initial number of trees per acre and thinning densities on timber yields from red pine plantations in the Lake States.* USDA Forest Service, Research Paper NC-193. 25 p.

MISSON, L., C. VINCKE et F. DEVILLEZ, 2003. *Frequency responses of radial growth series after different thinning intensities in Norway spruce (*Picea abies *[L.] Karst.) stands.* Forest Ecology and Management 177 : 51-63.

NILSSON, U. et H.L. ALLEN, 2003. *Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine.* Forest Ecology and Management 175 : 367-377.

OPIE, J.E., 1968. *Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area.* Forest Science 14 : 314-323.

PRÉGENT, G., 1998a. *L'éclaircie des plantations.* Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire n° 133. 38 p.

PRÉGENT, G., 1998b. *La plantation du test de provenances de Causapscal : résultats après 41 ans et planification des travaux d'éclaircie.* Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 439. 12 p.

REUKEMA, D.L., 1975. *Guidelines for precommercial thinning of Douglas-fir.* USDA Forest Service, General Technical Report PNW-30. 10 p.

RIOU-NIVERT, P., 1983. *Sélection en sylviculture : une action à mener dès la pépinière.* Forêt-Entreprise 83(9) : 22-36.

RIOU-NIVERT, P., 1986. *Bilan et perspectives du « Programme Résineux » de l'IDF.* Forêt-Entreprise 37 : 24-43.

RONDEUX, J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers.* Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux. 521 p.

SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec.* Supplément de l'Aubelle, février-mars. 12 p.

SAS INSTITUTE INC., 1988. *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition.* Cary, NC, SAS Institute Inc. 1 028 p.

VUOKILA, Y., 1983. *Thinning models for forest cultures in Finland.* Folia For. 556 : 1-15.

Direction de la recherche forestière

Forêt Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418.643.7994
Télécopieur : 418.643.2165

Site Web : http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche
Courriel : recherche.forestiere.publications@mrnfp.gouv.qc.ca

En couverture 1 - Lac du Cordon près de Saint-Jovite
- Érablière à Tilleul et Hêtre, Forêt de Gatineau
Photographies, Zoran Majcen
- Pédon lac Laflamme

En couverture 4 - Forêt résineuse
- Ordinateur de terrain pour l'enregistrement de mesures

L'étude de la croissance et du rendement des plantations menée par la Direction de la recherche forestière procure des informations essentielles à un aménagement efficace des ressources forestières du Québec. Les résultats qui découlent de ces recherches peuvent servir, notamment, à élaborer des plans d'aménagement forestier, à déterminer la possibilité annuelle de coupe, à mener diverses études économiques ou encore à choisir les essences et les densités de reboisement de même que les traitements sylvicoles appropriés.

Ressources naturelles, Faune et Parcs
Québec

ISBN 2-550-41828-X
F.D.C. 232(047.3)(714)
L.C. SD396.5
2003-3111

© Gouvernement du Québec
On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence